

Schlussbericht des Verbundes

- öffentlich einsehbar -

CiLoCharging -

Optimierte Integration von Lade-, Logistik-, Energie- und Verkehrsmanagement für den Betrieb von Elektrofahrzeugen in stadtnahen Logistikdepots

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des *Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz* unter dem Förderkennzeichen „01ME200002“ gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Zuwendungsempfänger: Konsortialführer: Siemens Aktiengesellschaft	Förderkennzeichen: 01ME20002A
<u>Projektpartner:</u> <ul style="list-style-type: none">- DHL Freight GmbH, Bonn- Technische Universität München, München- Fachhochschule Dortmund, Dortmund- STTech GmbH, München	01ME20002B 01ME20002C 01ME20002D 01ME10002E
Kontakt Konsortialführer: Jürgen Götz	Tel.: +49 89 78052250 Email: juergen.goetz@siemens.com
Laufzeit des Vorhabens: von: 01.12.2020 bis: 30.11.2023	
Datum Bericht: 31.05.2024	

Inhalt

1.	Kurzdarstellung.....	3
1.1.	Aufgabenstellung	6
1.2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	7
1.3.	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	8
1.4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	11
	Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.....	12
	Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	12
1.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	12
2.	Eingehende Darstellung	13
2.1.	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	13
2.2.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	32
2.3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	33
2.4.	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.....	35
2.5.	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	38
2.6.	Literaturverzeichnis	38
2.7.	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	41

1. Kurzdarstellung

Die zentralen Ergebnisse des Projekts CiLoCharging sind:

➤ *Einführung elektrisch angetriebener LKWs in den operativen Logistikbetrieb*

- Logistik- und Lademanagement

DHL Freight möchte im Rahmen seines Programms „GoGreen“ die Logistik-Terminals so weit als möglich auf die Nutzung von Elektro-LKWs für den Logistikbetrieb in stadtnahen Zonen und später auch im Fernbereich umstellen. Dazu muss vorab allerdings untersucht werden, ob der Einsatz von Elektro-LKWs unter allen äußeren Bedingungen und zu allen Jahreszeiten dem bisher gewohnten Einsatz von Diesel-LKWs mindestens ebenbürtig und gerade in der Zuverlässigkeit und der Reichweite vergleichbar ist – zumal ein Elektro-LKW heutzutage etwa 3x so teuer ist wie ein vergleichbares Diesel-Fahrzeug!

Zu diesem Zwecke führte das Projekt CiLoCharging einen Feldtest in einem neu gebauten DHL Freight Terminal in Erlensee (Rhein-Main Gebiet nahe Hanau) durch, das am 10. Juni 2022 feierlich eröffnet¹ wurde. 2 Elektro-LKWs der Firma Volvo Group Trucks Central Europe GmbH wurden durch DHL erworben:

- *Volvo FL Electric Truck*, 16 t Bruttogewicht, 185 kW max. Leistung, bis zu 300 km Reichweite, AC/DC Laden,

ebenso wie eine *Ladeinfrastruktur* („LIS“) der Firma Siemens AG:

- 2 AC-Einzelladesäulen (VersiCharge) mit je 22 kW Ladeleistung und

- 1 DC-Doppelladesäule (SiCharge D) mit einer Ladeleistung von 160 kW (erweiterbar auf 300 kW).

Im Rahmen von CiLoCharging stellte die Siemens AG ebenfalls ihre Software für das Lademanagement zur Verfügung:

- *DepotFinity* (vormals EVC3)² als *Softwarelösung für modernes Lademanagement*.

Die beschriebene Ausstattung (LIS und EVs) wurde im Zuge des Projekts unter Berücksichtigung der Anforderungen des Logistikbetreibers vorgeschlagen und in Erlensee für den operativen Einsatz im Logistikbetrieb bereitgestellt und evaluiert (**Feldtest 2023**).

- Erweiterung und Aktualisierung von Ladeinfrastruktur und Ladevorgang

Um den beschriebenen Einsatz von Elektromobilität in einem Logistik-Terminal in einem geförderten Projekt zu rechtfertigen, reicht es allerdings nicht aus, heute verfügbare Lösungen für die Logistik und den Ladeprozess zu kombinieren. Daher haben wir in CiLoCharging damit begonnen, eine standardisierte Lösung für die aktuellen notwendigen Kommunikationsprotokolle zwischen EVs, LIS und Lade-Backend zu implementieren und zu integrieren.

Hier sind insbesondere die Protokolle

- ISO/IEC 15118 (Kommunikationsschnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladestation) und

- OCPP³ Version >= 1.6 (Kommunikationsprotokoll zwischen Ladeinfrastruktur und Backend)

¹ <https://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2022/dhl-freight-eroeffnet-neues-frachtterminal-im-rhein-main-gebiet.html>

² <https://www.siemens.com/de/de/produkte/energie/emobility/depotfinity.html>

³ <https://openchargealliance.org/protocols/open-charge-point-protocol/>

zu nennen, die den Weg zur Plug & Charge⁴ Technologie ebnen; diese erlaubt es, den Ladeprozess unabhängig vom Hersteller des Elektrofahrzeugs (EV) und der LIS möglichst einfach durchzuführen. Bei Plug & Charge übernimmt das EV als System die Authentifizierung, eine Ladekarte/App zur Zahlung wird hierbei nicht mehr benötigt.

Die Implementierung von **ISO/IEC 15118 AC** einschließlich Plug&Charge sowie die Unterstützung der Integration von Plug&Charge auf der AC-VersiCharge Plattform wurde im Labor realisiert. Für die DC-Plattform (SiCharge D Ladesäule) ist die ISO/IEC 15118 bereits integriert.

Für das Backend ist OCPP 2.0.1 sowie der Anwendungsfall M. ISO 15118 Certificate Management bereits implementiert. Die Integration in die Hardware war für das Nachfolgeprojekt GridLogCharging vorgesehen; da aufgrund von Einsparmaßnahmen beim Fördergeber leider 2024 keine neuen Projekte mehr bewilligt werden können, wird es zunächst kein Nachfolgeprojekt geben.

OCPP 1.6 Plug&Charge ist als Extension Plugin ebenfalls bereits implementiert. Die korrespondierenden OCPP 2.0.1 Nachrichten wurden dabei im OCPP 1.6 DataTransfer gemäß dem OCA⁵ Whitepaper zur Implementierung von Plug&Charge in OCPP 1.6 verpackt; die ISO 15118 Plug&Charge Funktionalität wurde für OCPP 1.6 also unter Verwendung der betreffenden Logik für OCPP 2.0.1 implementiert. Siemens als Projektpartner steht kurz vor der Integration der betreffenden Protokolle in ihre LIS (AC und DC), und auch Volvo plant die Erweiterung ihrer Fahrzeuge um das Protokoll ISO/IEC 15118.

- Logistik-, Lade- und Energiemanagement

Der assoziierte Partner EAM-Netz ist der zuständige Verteilnetzbetreiber für Erlensee. Der Netzzugriff am DHL Freight Terminal ist durch EAM-Netz über den „EAM medium voltage ring“ mit einer maximalen Leistung von 2.4 MVA realisiert worden. Die Ladeinfrastruktur ist an einem der beiden Trafostationen (an einem ausreichend großen Abgang) angeschlossen.

Eine weitergehende Kooperation zwischen Logistikbetrieb, Lademanagement und Energieversorgung sollte im Nachfolgeprojekt konzipiert und detaillierter untersucht werden („bidirektionales Laden in der Praxis“).

- Routenmanagement und Datenintegrationsplattform

Im Entwurf der Architektur des Gesamtsystems wurde in der ursprünglichen Planung eine Middleware zur Verbindung der Logistikmanagement-Systeme TMS (Transportmanagementsystem für Logistik und Sendungen) und TIS (Transportinformationssystem zur GPS-Überwachung von Sendungen) zur Ladeinfrastruktur vorgesehen. Die Lösung in Form der Komponente ‚Routenmanagement‘ wurde in der Projektlaufzeit prototypisch ausgeführt. Die Komponente verfolgt einen Microservice-Ansatz mit einer auf AMQP basierenden Kommunikationsebene. Es ist vorgesehen, dass beliebige Module angekoppelt werden können. Im ersten Prototypen erfolgt die Routenberechnung ohne Optimierung.

Für die Ausgabe der Routendaten unter Nutzung von OpenStreetMap ist die Grundfunktion, eine POST-Request zu DepotFinity (Lademanagement-Tool) zu senden, vorhanden. Allerdings ist noch manuelle Bedienung notwendig, da das Tool sich noch als fehleranfällig erweist. Es stehen also noch Aufgaben in diesem Umfeld an, die im Fortsetzungsprojekt angegangen werden sollten; auch muss dabei das Tool an ein mögliches neues TIS bei DHL Freight angepasst werden.

⁴ <https://wiedergruen.com/iso-15118-warum-und-wie-plug-and-charge-die-elektromobilitaet-vereinfacht/>

⁵ Open Charge Alliance

Im Rahmen studentischer Arbeiten wurde die Routenoptimierung für elektrisch angetriebene LKWs im Anwendungsfall des Projekts erforscht. So wurden in einer Masterarbeit Algorithmen zur Routenoptimierung für Nahverkehrs-BEV unter Einbeziehung eines flexiblen Ladeprozesses der Antriebsbatterie verglichen. In der Arbeit wird das „Electric Vehicle Routing Problem with Mixed Backhauling and Non-Linear charging function and Partial Reload (EVRPMB-NLPR)“ in seine Teilprobleme zerlegt und betrachtet. Die Arbeit kommt zu dem Ergebnis, dass mit einer Kombination diverser Algorithmen für die Teilprobleme eine Optimierung in Bezug auf Zeit, Strecke und Ladeleistung von Routen vorgenommen werden kann. Die Wahl der Algorithmen hat verschiedenen Einfluss auf die Optimierung eines der Features. Für Touren, welche die Batteriekapazität des BEV überschreiten, kann partielles Laden auf der Strecke berücksichtigt werden. Das Fazit der Arbeit macht jedoch auch deutlich, dass eine weitere Optimierung, vor allem unter Berücksichtigung weiterer Faktoren wie Verkehr und Wetterlage möglich ist, jedoch die Komplexität und Rechenzeit weiter erhöht, da das zugrundeliegende Problem NP-schwer ist.

In einer weiteren studentischen Arbeit wurde die Routenplanung für Flotten einbezogen. Allerdings konnte diese Arbeit nicht vor Projektende fertiggestellt werden.

➤ *Bidirektionales Laden*

Dieses Thema konnte im Rahmen des Projekts nur mit Hilfe einer Erweiterung des Simulators CityMoS des Partners TUM untersucht werden, da die erforderlichen sehr neuen Protokolle noch nicht in den notwendigen Hardware-Komponenten umgesetzt werden konnten. Ergebnisse hierzu finden sich im TUM-Teil von Kapitel 2.1 im vorliegenden Schlussbericht (ab S. 25).

➤ *Wirtschaftlichkeitsuntersuchung für 2nd Life von Altbatterien aus EVs*

Auch dieses Thema konnte im Rahmen des Projekts nur mit Hilfe einer Erweiterung des Simulators CityMoS des Partners TUM untersucht werden, da nicht genügend Altbatterien in der Praxis zur Verfügung standen. Ergebnisse hierzu finden sich ebenfalls im TUM-Teil von Kapitel 2.1 des vorliegenden Schlussberichts (ab S. 29).

➤ *Künstliche Intelligenz → STTech (Highlights)*

Studien und Praxiserfahrungen stimmen darüber ein, dass die zu beherrschende technische und organisatorische Komplexität den wirtschaftlich verfügbaren Kapazitäten enteilt. Dies führt zu Umsetzungsblockaden, zusätzlichen Risiken wie auftretenden Fehlern und verpassten Chancen, sowie zu wachsenden Belastungen für Mitarbeiter. (vgl. z.B. McKinsey's SoftCoster embedded software project database cost vs productivity). Rentenspitzen verstärken diese Effekte weiter. Der Fachkräftemangel wird hierdurch verschärft und zum ernstesten Problem. Dies ist ein dominanter Trend, für den Experten eine kontinuierliche Verschärfung erwarten.

Reduzierung der notwendigerweise zu beherrschenden Komplexität ist von kritischer Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung der Ziele in der Elektromobilität, da die Skalierung sonst zu lange dauern wird und es zu viele teure Fehler bei der Umsetzung geben wird, und die notwendigen Fachkräfte nicht im ausreichenden Maß zur Verfügung stehen werden.

Eine deutliche Reduzierung der Planungs- und Umsetzungs Komplexität führt zu einem reduzierten Bedarf an spezialisierten Personen, da die KI-unterstützten Mitarbeiter ein breiteres Aufgabenspektrum beherrschen können. Dies führt zu deutlich reduzierten Kosten und Beschleunigungen in der Umsetzung.

Die Durchbrüche in der generativen KI im Verlauf der letzten 2 Jahre machen es möglich, planende und umsetzende Tätigkeiten in weit größeren Teilen zu automatisieren als je zuvor. Deshalb haben wir entsprechende generative KI-Methoden und Werkzeuge geschaffen, mit denen dies realisiert werden kann. Die bereits durchgeführten Messungen zeigen sehr positive Ergebnisse (z.B. +60% Performance bei Anforderungsmanagement).

Ansätze wurden entwickelt, um durch den Einsatz von Mechanismen für die Skalierungsunterstützung in der Umsetzung und im erfolgreichen Betrieb Elektromobilität mit den generative KI-Werkzeugen und Methoden zu erforschen und Praxisbeispiele zu schaffen, die es ermöglichen die Technologie in der Breite in den Einsatz zu bringen (vgl. Automatische Depotplanung, Anforderungsmanagement, Fehlererkennung, Laufzeitentscheidungen, Prozessdokumentation, Antragsmanagement).

Diese Durchbrüche in der generativen KI gehören zu den größten Chancen Deutschlands in den nächsten Jahren, mit denen auch aktuelle Nachteile (großer Verwaltungs- und Prozessaufwand) in entsprechende Vorteile gewandelt werden können (schnelle, treffsichere Entscheidungen und Umsetzungen, die den normativen Anforderungen gerecht werden).

➤ *Öffentlichkeitsarbeit*

Highlight auf diesem Feld war für CiLoCharging mit Sicherheit die Erstellung des **Projektfilms** am Feldtest-Standort in Erlensee im April 2023, der im Überblick und in Interviews der beteiligten und betroffenen Kollegen des Projekts die aktuelle Situation und die Änderungen durch den Einsatz von elektrisch betriebenen LKWs in einem neu errichteten Logistik-Terminal aufzeigt. Der Film wurde mit dankenswerter Unterstützung der Experten der Agentur „Goldener Hirsch“ im Rahmen der Begleitforschung erstellt und bei der Präsentation des Projekts am Gemeinschaftsstand des BMWK auf der Messe „transportLogistic2023“ im Mai 2023 in München vorgestellt. Zusätzlich wurde auf dieser Messe auch eine VersiCharge Wallbox gezeigt, wie sie beim Feldversuch in Erlensee verwendet wird. Weitere wichtige Aktionen des Projekts waren neben der Vorstellung ausgewählter Themen auf verschiedenen internationalen Konferenzen durch die Projektpartner auch die mehrmalige **Vorstellung des Status und der Ergebnisse des Projekts** auf dafür vorgesehenen Veranstaltungen der Begleitforschung in Berlin und Frankfurt / Main.

Das Projekt CiLoCharging hat weiterhin als Fallstudie in zwei wissenschaftlichen Publikationen gedeut, wie auch in Kap. 2.7 (Tabelle 2.14) erwähnt:

- C.Wiecher, C.Wolff, P.Tendyra - *Scenario-based Requirements Engineering for Complex Smart City Projects* - 2022 IEEE EUROPEAN TECHNOLOGY & ENGINEERING MANAGEMENT SUMMIT - DOI: 10.1109/E-TEMS53558.2022.9944441
- C.Wiecher, C.Wolff, P.Tendyra - *Agile Systems Engineering in Complex Scenarios* - 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) - DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9661020

1.1. Aufgabenstellung

Die Entwicklung einer *umfassenden, optimalen Lösung* für die zeitlichen und organisatorischen Abläufe in einem BEV⁶-Logistikdepot erfordert die Integration möglichst vieler Vorgaben aus den ursprünglich

⁶ Battery Electric Vehicle

unterschiedlichen und getrennten Anwendungsbereichen **Logistik, Ladeprozess für elektrisch angetriebene Fahrzeuge, Energieversorgung und Verkehrs-/Routenmanagement** (Fig.1):

- Logistik → Verfügbarkeit der Fahrzeuge zu bestimmten Zeiten und für bestimmte Touren
- Ladeinfrastruktur → (a) Aktuelle Ladezustände und die sich daraus ergebenden Reichweiten
(b) Erforderliche Lade- und Einsatzzeiten der Fahrzeuge
(c) Beibehaltung operativer Flexibilität, um auch auf Ad-hoc Aufträge zu reagieren
- Energieversorgung → (a) Skalierbare und zuverlässige Stromversorgung am Netzanschlusspunkt von Verteilnetz und Logistikdepot
(b) Bidirektionaler Leistungsfluss aus dem und in das Verteilnetz (soweit möglich)
- Verkehrsmanagement → Ermöglichung des Nachladens in der Stadt bei längeren Lieferstrecken (soweit notwendig und Ladestationen Lkw-tauglich sind) und Routenoptimierung je nach aktueller Verkehrssituation.

Grafisch ergibt sich folgendes Übersichtsbild:

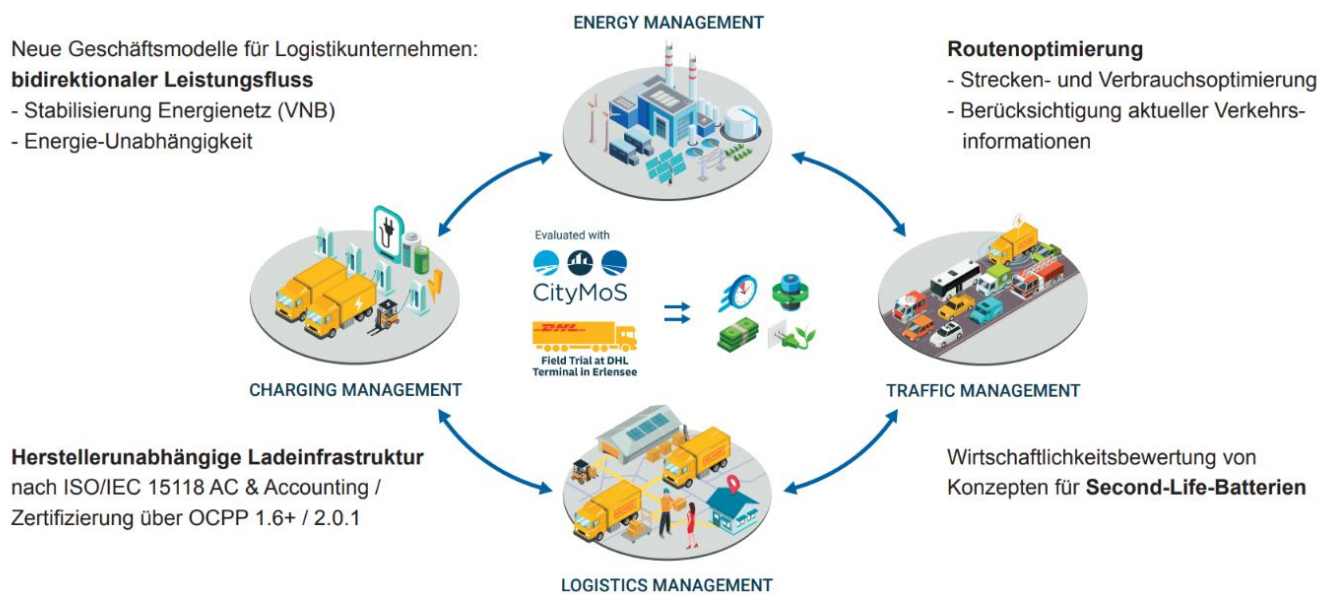


Fig.1: Integration & Optimierung des Geschäftsprozesses in der BEV-basierten Logistik

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Da die Einführung von Elektro-LKWs (Verteiler-LKWs für den regionalen Nahverkehr mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 14 – 16 t; vergleichbare Dieselfahrzeuge haben ein zulässiges Gesamtgewicht von 12 t, die Netto-Akkukapazität beträgt etwa 200 - 300 kWh) in den Logistikbetrieb neu ist und von Seiten des Logistikbetreibers erst auf Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit (Elektrofahrzeuge kosten deutlich mehr als vergleichbare Diesel-LKWs!) untersucht werden muss, war es unbedingt erforderlich, das Projekt in mehreren Schritten anzugehen:

- (1) Untersuchung verfügbarer elektrischer LKWs, die für das Vorhaben geeignet sind, und Entscheidung der im Projekt eingesetzten LKWs (bis August 2021, Meilenstein M2A) durch die DHL Group
- (2) Bereitstellung geeigneter Produkte für die AC- und DC-Ladeinfrastruktur durch den Konsortialpartner Siemens AG am neu errichteten Logistik-Terminal Erlensee bei Hanau
- (3) Erweiterung der Ladeinfrastruktur um die Kommunikationsprotokolle ISO/IEC 15118 und OCPP1.6 oder einer neueren Version
- (4) Zusammenstellung der Anforderungen für den Logistikbetrieb durch das gesamte Konsortium unter Federführung von DHL und Lieferung einer geeigneten Lademanagement-Lösung durch die Siemens AG (DepotFinity)
- (5) Lieferung der erforderlichen Energie am Netzanschlusspunkt (NAP) des Logistik-Terminals in Erlensee durch den assoziierten Partner EAM-Netz
- (6) Durchführung eines Feldtests der erarbeiteten Projektlösung in Erlensee zur Evaluierung der Eignung der Lösung für den *laufenden Logistikbetrieb*
- (7) Untersuchung der erforderlichen Ladekapazität und der Notwendigkeit des Nachladens außerhalb des Logistik-Terminals im Sommer wie im Winter
- (8) Untersuchung des notwendigen Verkehrsmanagements
- (9) Simulation der Problemstellungen zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung:
 - Second Life für Altbatterien aus EVs
 - Bidirektionales Laden.

Beide Themen konnten im Feldtest nicht in der Realität untersucht werden, da einerseits **noch nicht genügend Altbatterien aus E-LKWs verfügbar waren, andererseits die erforderlichen Kommunikationsprotokolle für bidirektionales Laden** nicht im Projekt vollständig integriert werden konnten (erheblicher Zeitaufwand).

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde in 7 Arbeitspakete gegliedert:

- AP 0: Projektmanagement → Organisation und Ablauf des Projekts, Koordination und Berichtswesen
- AP 1: Anwendungsfälle und daraus resultierende Anforderungen an eine Architektur für das integrierte Gesamtsystem
- AP 2: Integration der Ladeinfrastruktur und Kommunikation zum Backend
- AP3: Integrativer Optimierungsansatz, Integration der Lademanagement-Software DepotFinity
- AP 4: Simulation des Gesamtsystems und simulative Untersuchung von Fragestellungen wie 2nd Life von Altbatterien aus EVs sowie V2G (Vehicle to Grid), die im Feldtest (AP5) nicht in der Realität untersucht werden konnten.
- AP 5: Durchführung und Auswertung der Gesamtlösung im Feldtest bei DHL Freight in Erlensee (Mitte 2022 errichtetes Logistik-Terminal); entsprechend der in AP1 formulierten Anforderungen wurden die Verfahren bewertet.
- AP 6 Öffentlichkeitsarbeit: Konferenzen, Messen, Social Media.

Fig. 2 beschreibt das Zusammenwirken der Arbeitspakete und die hauptverantwortlichen Partner:

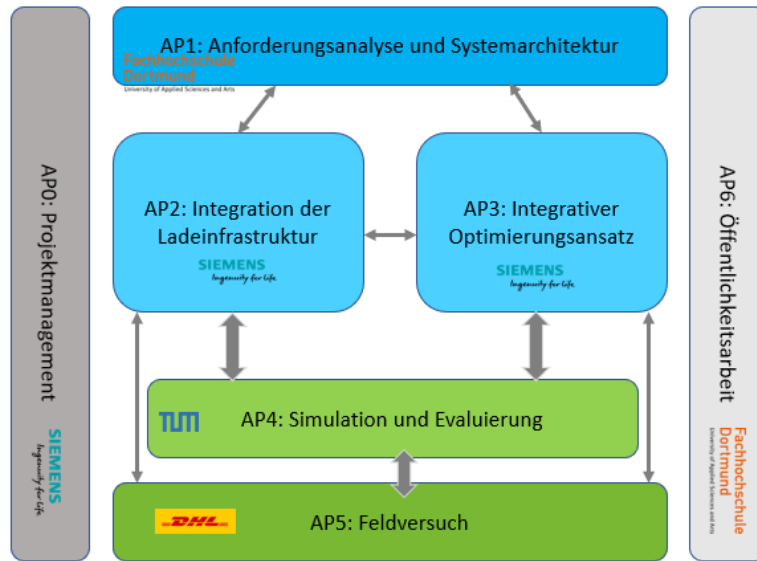


Fig 2: Interaktion der APs

Fig. 3 zeigt den zeitlichen Ablaufplan zu Anfang des Projekts:

Das Projekt CiLoCharging lief vom 1.12.2020 bis 30.11.2023, Projektmonat 1 war also der Dezember 2020.

Im Laufe des Projekts haben sich einige Zieltermine aufgrund längerer Entwicklungszeit und höherer Zeitaufwände bei der Implementierung und Integration etwas nach hinten verschoben. Im Wesentlichen konnten aber alle geplanten Aufgaben zumindest begonnen werden und sollten im Falle offener Umsetzungen in einem Fortsetzungsprojekt zu Ende geführt werden, wie z.B. das Thema Plug&Charge für die Ladeinfrastruktur in AP 2. Fig. 3 blieb im Laufe des Projekts aber stets die Grundlage der Arbeiten.

Einige Fragestellungen, wie das Thema Second Life für Altbatterien aus EVs und V2G, ließen sich aber im Rahmen von CiLoCharging nicht im Feldtest untersuchen und wurden simulativ über den TUM-Simulator CityMoS untersucht (mit entsprechender Erweiterung des Simulators).

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Bezogen auf das Lademanagement sind heutige Lösungen in der Regel so ausgelegt, dass die Rahmenbedingungen des Ladens der Fahrzeuge keinen Einfluss auf die Logistikabläufe haben. Bei DHL Freight werden heute tagsüber Nahverkehrs-Touren von durchschnittlich etwa 150-200 km gefahren, für die ein einmaliges Aufladen über Nacht vollkommen ausreicht, um die Batterien auf 100% zu laden. Es kann aber durchaus eine große Flexibilität je nach Auftragslage und somit auch die Notwendigkeit höherer Reichweiten geben (mehrere Fahrten pro Tag, Nachladen auf der Strecke etc.). Durch ein integriertes Lademanagement können sowohl die Einsatzzeiten der Fahrzeuge erhöht als auch die Energiekosten für die Ladevorgänge, beispielsweise durch die Vermeidung von Lastspitzen, optimiert werden, was die ökonomische Machbarkeit und die Attraktivität elektrischer Logistikflotten verbessert. Außerdem ermöglicht der Ansatz die Skalierung der Flottenterminals auf größere Fahrzeugflotten ohne teure Investitionen in den Netzanschluss.

Das Projekt CiLoCharging setzte an der Idee an, die bisher getrennten Optimierungsansätze für Logistik, Mobilitätsmanagement, Energiemanagement und Ladeprozesse für das gesamte Terminal in einem gemeinsamen, flexiblen Optimierungsansatz zusammenzuführen, so dass Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Skalierbarkeit des Gesamtsystems gesteigert werden können. Das Logistikterminal bildet dabei den zentralen Verbindungs- und Optimierungspunkt zwischen den verschiedenen Domänen. Es ist auf die Auswirkungen und Einflussmöglichkeiten der Kopplung der unterschiedlichen Domänen und die daraus entstehenden Potenziale bisher noch nicht umfassend untersucht worden.

Mit Hilfe dieses integrierenden Ansatzes können dann anspruchsvollere Lösungen für die Verteillogistik realisiert werden. Die Reichweite der Lieferfahrzeuge lässt sich deutlich erhöhen (>250 km) und spontane Zusatztouren durch schnelles Nachladen auf Basis von ISO/IEC 15118 DC werden ermöglicht.

Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Die Architektur komplexer mechatronischer (oder intelligenter technischer) Systeme lässt sich mittels des im „SFB614 – Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus“ entwickelten Operator Controller Module (OCM) strukturieren. Die Konzeption kann mittels Modellierungssprachen erfolgen (z.B. CONSENS, UML und sysML). Auf dieser Basis erfolgt dann eine modellbasierte Entwicklung der Software. Dabei wird die Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme CONSENS – CONceptual design Specification technique for the ENgineering of mechatronic Systems – angewendet und weiterentwickelt. Diese Systems Engineering Methodik hilft dabei, komplexe Produkte auf allen Ebenen mechatronischer Systeme umzusetzen. CONSENS ermöglicht den Entwurf basierend auf einem System kohärenter Partialmodelle, so dass intelligente technische Systeme nun vor allem aus logischer, physikalischer und funktionaler Sicht beschrieben werden können.

Es sind keine der Ergebnisverwertung entgegenstehende Rechte Dritter bekannt. Der Umgang mit ggf. vorhandenen eigenen Schutzrechten der Konsortialpartner wurde im Konsortialvertrag zu Beginn des Projekts geregelt.

Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Die Konzeption und Entwicklung der Systemarchitektur wurde mit Enterprise Architect vorgenommen, als Ablage für die entstandenen Dokumente dient die SharePoint-Freigabe des Projekts. Die Softwareentwicklung und hiermit verbundenen Dokumentation wurde über ein internes Git-Repository des IDiAL Instituts realisiert. Als weitere Ablage für Dokumente innerhalb des Teams des IDiAL Instituts wurde eine interne Nextcloud-Freigabe, sowie ein internes Confluence Repository genutzt.

Das Literaturverzeichnis findet sich in Kap. 2.6.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

- a) Als **assoziierter Partner** des Projekts hat uns der Verteilnetzbetreiber EAM-Netz mit Sitz in Kassel unterstützt. Die dankenswerte Unterstützung von EAM-Netz erfolgte vor allem durch folgende Aktivitäten:
 - Lieferung der erforderlichen Energie am Netzanschlusspunkt (NAP) des Logistik-Terminals in Erlensee: Seit April / Mai 2022 hat der Verteilnetzbetreiber EAM-Netz einen Netzanschluss aus dem Mittelspannungsring von EAM mit einer Kapazität von max. 2,4 MVA bereitgestellt.
 - Unterstützung und Consulting bei Energieversorgung und -management des Logistik-Terminals in Erlensee für den Betreiber DHL Freight
 - Unterstützung bei der Vorbereitung der Projektskizze für das geplante Fortsetzungsprojekt: Kommunikation zwischen Logistikbetreiber und Energienetzbetreiber beim bidirektionalen Laden.
- b) Um einen möglichst reibungslosen Test am Terminal Standort zu gewährleisten, wurde am 20.05.2022 ein Kompatibilitätstest mit einem Volvo FL Electric Lkw bei Siemens in München durchgeführt (baugleich zu den beiden Fahrzeugen, die wir im Juni 2022 erhalten haben). Dieses Fahrzeug wurde von **Volvo Trucks** für diesen Test zur Verfügung gestellt.

- c) Bei der Planung und den Aufnahmen sowie bei der Bearbeitung des **Films über das Projekt CiLoCharging am Standort Erlensee** Mitte April 2023 hat uns die **Agentur „Zum Goldenen Hirschen“** wesentlich unterstützt, die mit der Begleitforschung des Förderprogramms eng zusammenarbeitet.
- d) Im Rahmen des AP6 wurde von der FH Dortmund Kontakt zum ruhrvalley Konsortium aufgenommen, um einen Demonstrator im Raum Dortmund/Herne/Bochum zu planen. Leider konnte ein Demonstrator nicht innerhalb der Projektlaufzeit umgesetzt werden.

2. Eingehende Darstellung

2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Tabelle 2.1: Verwendung Teilvorhaben Konsortialführer

Geplantes Ergebnis	Erzieltes Ergebnis
AP0: Teilprojektkoordination, Controlling und Reporting	Alle Quartalsberichte und Zwischenberichte wurden fristgerecht erstellt und an den Projektträger gesendet. Eine Entscheidung bezüglich der Beschaffung der beiden E-LKWs für den Feldtest wurde rechtzeitig vor dem Erreichen des Abbruchmeilensteins M2A getroffen. Die Fahrzeuge wurden im November 2021 bestellt; die Lieferung der beiden Fahrzeuge erfolgte im Juni 2022. Aufgrund der guten Erfahrungen wird der Standort in Erlensee für eine mögliche Erweiterung der DC-Ladeinfrastruktur in Betracht gezogen.
Festlegung und Einhaltung von Meilensteinen	Alle Meilensteine aus der GVB wurden eingehalten oder nur um wenige Monate verschoben, entsprechende Berichte und Informationen zu den jeweiligen Themen wurden an das DLR geschickt.
Monatliche Konsortiums-Jour Fixes über TEAMS	Insgesamt 23 Jour Fixes mit allen Konsortialpartnern inkl. assoziiertem Partner EAM-Netz wurden durchgeführt und entsprechende Meetingprotokolle verfasst und verteilt.
Halbjährliche Konsortialmeetings	<i>Kick-Off-Meeting</i> über WebEx am 21.01.2021; <i>Konsortialmeeting 1</i> am 11.3.2021 über TEAMS; <i>Konsortialmeeting 2</i> am 26./27.10.2021 über TEAMS; <i>Konsortialmeeting 3</i> konnte nach der Corona-Zeit erstmals F2F am 27./28.7.2022 bei Siemens in München durchgeführt werden; <i>Konsortialmeeting 4</i> fand am 14./15.12.2022 am Standort Erlensee bei DHL Freight statt. 2 Kollegen des DLR haben ebenfalls teilgenommen (Herr Steinberg und Herr Rohrbach);

	<p><i>Konsortialmeeting 5</i> konnte am 11./12.07.2023 bei der TUM in Garching bei München (Institute for Advanced Study) abgehalten werden;</p> <p><i>Konsortialmeeting 6</i> fand dann bei der FH Dortmund am 7./8.11.2023 am User Innovation Center in Dortmund statt.</p>
Projektverlängerung und Fortsetzungsprojekt	<p>Zunächst wurde Anfang August 2023 ein Antrag auf Verlängerung von CiLoCharging eingereicht, da das Konsortium noch einige Aufgaben zu Ende bringen wollte. Dieser Antrag wurde aber aus organisatorischen Gründen am 03.08.2023 abgelehnt. Stattdessen hat das Konsortium am 15.09.2023 eine Projektskizze für ein Fortsetzungsprojekt („GridLogCharging“) im Programm IKT-EM eingereicht, in dem es schwerpunktmäßig um die Vertiefung der Zusammenarbeit zwischen Logistikbetreiber und Energienetzbetreiber gehen sollte (Stichwort: Praktische Umsetzung des bidirektionalen Ladens). Diese Projektskizze ist aber letztendlich am fehlenden Budget für 2024 gescheitert.</p>
Auswahl der Elektro-LKWs für den Feldtest (Meilenstein M2A)	<p>Die Entscheidung über die Auswahl der Elektrofahrzeuge für den Feldversuch des Projekts wurde im August 2021 getroffen: <i>DHL Freight</i> hat 2 Volvo FL E-Trucks bestellt, die im Laufe des Jahres 2022 geliefert wurden.</p> <p>Damit stehen für den Feldtest geeignete Fahrzeuge zur Verfügung. Ansprechpartner für CiLoCharging bei Volvo sind bekannt und erste Gespräche zu technischen Fragen in Bezug auf die E-Trucks haben stattgefunden.</p> <p>Siemens ist mit den Kollegen von Volvo Trucks in Kontakt getreten und hat mit Ihnen zusammen den Ladevorgang zwischen den Elektro-LKWs und der Ladeinfrastruktur bei Siemens in München getestet und dann in Erlenfeld realisiert (AC und DC über 22 bzw. 160 kW Ladeleistung, Charging Mode 3 bzw. 4).</p>
AP1: Anforderungsanalyse (Meilenstein M2) und Systemarchitektur	<p>Die speziellen Rahmenbedingungen des Umfelds bei dem Logistikpartner DHL Freight wurden mit dem Fokus auf Anwendungsfälle und Anforderungsanalyse untersucht und in der ersten Version eines entsprechenden Berichts im Juli 2021 festgehalten. Auch hierbei haben alle Partner unterstützt. Der überarbeitete Bericht zur Anforderungsanalyse und den Anwendungsfällen wurde am 15.12.2021 fertiggestellt.</p> <p>Siemens unterstützte bei der LIS wenn nötig. Dazu wurde auch ein einstündiger Workshop zu AI und Datenquellen aus dem Logistikmanagement am 11.11.2021 durchgeführt (TEAMS-Konferenz).</p>

	Aus den Ergebnissen der Anforderungsanalyse wurde eine passende Systemarchitektur abgeleitet.
AP2: Ermittlung der Standort-Voraussetzungen für Planung, Installation und Inbetriebnahme der Ladeinfrastruktur	Die Ermittlung der Standort-Voraussetzungen für die Planung, Installation und Inbetriebnahme der Ladeinfrastruktur wurden in enger Abstimmung mit Siemens durchgeführt und mit den Arbeiten am neuen Terminalstandort in Erlensee harmonisiert. Der Logistikstandort in Erlensee wurde am 10.06.2022 offiziell eröffnet. Neben einem 12.000 m ² großen Crossdock-Terminal, befinden sich auf dem Areal auch 3.800 m ² Büroflächen, sowie ein 10.500 m ² großes Lager für Spezialchemie, Gefahrgut und allgemeine Produktionsstoffe. Für die Büroflächen wurde unter anderem der ehemalige, denkmalgeschützte Tower des Flughafens im Gewerbepark Fliegerhorst II aufwendig saniert und in das Frachtzentrum integriert. Die Dächer des Lagers sowie des Pförtnergebäudes wurden begrünt. Zudem bietet die Dachfläche des Crossdock-Terminals Potential für die Installation einer Photovoltaikanlage mit bis zu einem Megawatt peak.
Aufbau Ladeinfrastruktur [LIS] (AC- und DC-Ladesäulen)	Im Mai 2022 wurde erfolgreich ein Kompatibilitätstest zwischen den AC- und DC-Ladestationen von Siemens und einem baugleichen Lkw von Volvo durchgeführt. Der <u>Ladetest</u> zwischen DHL und Volvo war ein voller Erfolg. Die zusammenfassende E-Mail dazu lautete: „Das Fahrzeug hat an beiden Ladestationen (DC und AC) ohne Probleme geladen und an der AC-Ladestation - nach simuliertem Stromausfall - den Ladevorgang selbständig wieder gestartet. Während des Tests ist nur aufgefallen, dass das Fahrzeug in der Nähe der CCS-2 Steckdose über einen Notausschalter verfügt, der für jedermann zugänglich ist.“ Die <u>Installation der LIS</u> wurde am Feldtest-Standort Erlensee geplant vom Siemens-Bereich SI (Smart Infrastructure) und ab Juni 2022 (Eröffnung Feldtest-Standort Erlensee) mit den der Produktlösung zur Verfügung stehenden Schnittstellen (AC: Mode 3, DC: CCS-2, Charging Mode 4) ausgeführt: - 2 AC-Wallboxen (VersiCharge) mit je 22 kW & - 1 DC-Ladesäule (SiChargeD) mit 160 kW Bei der Lieferung der Ladestationen von Siemens kam es zu Zeitverzögerungen. Es dauerte bis Anfang 2023, bis die finale DC-Ladestation geliefert und, wie auch die AC-Ladestationen, in DepotFinity (CPO-Backend von Siemens) angebunden wurde. Die

	<p>vollständige Inbetriebnahme wurde im März 2023 durchgeführt. Somit hat sich der Abschluss des Meilensteins M11 (Vorbereitung Feldversuch), und auch der Start des Feldtests, um 4 Monate verzögert.</p> <p>Die bereits in Erlensee installierte <u>DC-Ladesäule</u> SiCharge D enthält bereits eine einsetzbare ISO/IEC 15118 Kommunikationslösung mit dem EV; dies wird aber noch nicht eingesetzt, da das Protokoll noch nicht auf dem Fahrzeug einsetzbar ist.</p>
<p>Implementierung und Integration von ISO/IEC 15118-2 Plug&Charge (Meilensteine M6 und M12)</p> <p>sowie</p> <p>Durchführung einer Demo zu ISO/IEC 15118 mit Keysight-Testsystem Mitte April 2024 im Siemens-Labor in München</p>	<p>Die Implementierung des betreffenden Kommunikationsprotokolls für die LIS (Ladesäulen) von Siemens ist fertiggestellt, d.h. das ISO/IEC 15118-2 AC-Protokoll inklusive Plug&Charge. Funktionalität ist LIS-seitig voll implementiert. Für die Ladesäulen in Erlensee konnte das Protokoll ISO/IEC 15118 jedoch nicht eingesetzt werden, da die Integration in die Produktlösungen der AC-Ladesäulen noch in Arbeit war; die Erweiterungen dazu wurden auf Laborebene aber bis März 2024 beendet und Mitte April 2024 online vorgestellt.</p> <p>Auch für die Volvo E-LKWs ist die Unterstützung des Protokolls zeitnah geplant.</p>
<p>OCPP 1.6 / 2.0.1 (Meilensteine M7 und M13)</p>	<p>OCPP1.6: Da OCPPv1.6 die heute übliche meistgenutzte Version des Protokolls für das Backend und die Ladesäulen ist und auch von DepotFinity (Software für das Lademanagement, s. unten) unterstützt wird, waren beim 3. Konsortialmeeting alle Partner mit der Nutzung von OCPPv1.6 zu Beginn des Feldtests einverstanden. Weiterhin wurde von Siemens Technology OCPP 1.6+ zusätzlich implementiert, um Plug&Charge über OCPP 1.6 zu ermöglichen.</p> <p>OCPP2.0.1: Die Implementierung von OCPP2.0.1 und OCPP1.6+ ist für die Ladesäulen bis Mitte November 2022 abgeschlossen worden. Die OCPP 2.0.1 Plug&Charge Funktionalität wurde implementiert, die vollständige Implementierung des OCPP 2.0.1 Anwendungsfalls M. ISO 15118 Certificate Management damit realisiert. Die OCPP 1.6 Plug&Charge Extension Plugins wurden implementiert, ebenso wie die ISO 15118 Plug&Charge Funktionalität für OCPP 1.6 unter Verwendung der betreffenden Logik für OCPP 2.0.1. Dazu wurden die korrespondierenden OCPP 2.0.1 Nachrichten in OCPP 1.6 DataTransfer Nachrichten gemäß dem OCA</p>

	<p>Whitepaper zur Implementierung von Plug&Charge in OCPP 1.6 verpackt.</p> <p>Die erste Version des Plugins wurde freigegeben im Dezember 2022, das letzte Update erschien im September 2023.</p> <p>Auch hier ist die Implementierung des Backend-Protokolls OCPP2.0.1 also fertiggestellt. Die notwendigen Nachrichten des Protokolls für Monitoring, Reporting und Zertifikatsmanagement für die Unterstützung von Plug&Charge sind verfügbar.</p> <p>Die Integration in die AC-Ladesäulen ist noch in Arbeit und wird wohl erst im Laufe des Jahres 2024 fertiggestellt.</p>
<p>AP3: Integriertes Lademanagement (Meilensteine M8 und M14)</p>	<p>Als <u>Lademanagement-Lösung</u> bietet Siemens die Software DepotFinity (vormals EVC3) an. Die Software-Lösung wurde über Videokonferenz am 29.7. und 19.8.2021 allen Partnern vorgestellt und anschließend für das Projekt dem Partner DHL bereitgestellt.</p> <p>DepotFinity bietet eine umfassende und flexible Lösung für das Lademanagement von EV-Flotten an, wie im Flyer dargestellt wird und unterstützt im Moment OCPP Version 1.6.</p> <p>Die aktuelle Lösung der DepotFinity Software wird von Siemens ständig erweitert und verbessert; eine Erweiterung auf OCPP1.6+ bzw. OCPP2.0.1 ist in Vorbereitung. In einem geplanten Fortsetzungsprojekt war vorgesehen, jeweils die aktuelle Version der Software dem Anwendungspartner DHL bereit zu stellen.</p> <p>Eine Produktlösung ist verfügbar.</p> <p>Es gab außerdem bereits einen Vor-Ort-Termin zwischen DHL und Siemens mit dem Ziel, DepotFinity in Richtung einer mobilen App-Anwendung weiterzuentwickeln. Die Realisierung wird aber erst nach dem Ende von CiLoCharging möglich werden.</p>
<p>AP4: Simulation und Evaluierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Second-Life-Konzepte für alternde Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen - Bidirektionales Laden 	<p>Beteiligung an der Auswahl möglichst realistischer Szenarien für die Simulationen:</p> <p>Problem für den Anwendungspartner DHL wurde im Laufe des Projekts zunehmend unbedeutender, da die Produktion der StreetScooter-Fahrzeuge nach extern verkauft wurden und dadurch auch die Nutzung der Altbatterien weniger wichtig wurde. Das Thema war im Projekt leider praktisch nicht umsetzbar.</p> <p>Die Themen „bidirektionales Laden“ und „Second Life für Altbatterien aus EVs“ wurden mittels einer Erweiterung des Simulators CityMoS von der TUM angegangen; für beide Themen mussten wir auf die in der GVB (Tabelle 1) bereits angegebene Risiko-</p>

	<p>Alternativmaßnahme ausweichen und konnten beides lediglich über „Evaluierung und Test mit Hilfe des Simulators CityMoS“ zeigen. Dazu benötigen wir entsprechende Szenarien, die im 5. Konsortialmeeting im Juli 2023 unter Beteiligung aller Projektpartner besprochen wurden, und können dadurch z.B. Aussagen treffen, inwiefern es aus einem Logistikdepot heraus möglich ist, über V2G das Grid bei Bedarf zu stabilisieren, und inwieweit die Verwendung von 2nd-Life-Alt-Batterien aus EVs wirtschaftlich ist.</p> <p>Das zugehörige M16 Deliverable (Simulationsstudie fertiggestellt) musste entsprechend zeitlich verschoben werden (ursprünglich geplant für M32, neuer Termin M36), um es zufriedenstellend abzuschließen.</p>
<p>AP5: Vorbereitung und Durchführung Feldtest (Meilensteine M11 und M17)</p>	<p>Erforderliche Vorbereitungsarbeiten des Standorts Erlensee durch DHL Freight wurden aus der CiLoCharging-Perspektive durch die Siemens AG bei Bedarf bereits vor Mitte 2022 (Eröffnung des Standorts) unterstützt.</p> <p>Der Aufbau und die Inbetriebnahme der LIS hat sich etwas verzögert (Lieferschwierigkeiten, fehlende Online-Anbindung aller Ladestationen), so dass der Meilenstein M11 (Vorbereitung Feldversuch abgeschlossen) erst Mitte Januar 2023 beendet werden konnte.</p> <p>Ab 8. Mai 2023 begann der Feldversuch am neugebauten Terminal von DHL Freight in Erlensee mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2 E-LKWs von Volvo (Volvo FL Electric Truck) - 2 AC-Wallboxen von Siemens (VersiCharge) - 1 DC-Ladesäule von Siemens (SiCharge D, verfügbar in Erlensee seit Januar 2023) <p>Alle Ladestationen waren sichtbar in DepotFinity (Lademanagement-Software).</p> <p>Für die LIS wurde die aktuelle Produktlösung für den operativen Betrieb der E-LKWs im Feldtest verwendet (ohne ISO/IEC 15118).</p> <p>Der Feldversuch von CiLoCharging in Erlensee lief dann bis zum Projektende. Das vorhandene Equipment wird am Standort weiterbetrieben; es sollte für das geplante Fortsetzungsprojekt weitergenutzt werden.</p> <p>ISO/IEC 15118 sollte für die LIS und die E-LKWs im geplanten Fortsetzungsprojekt nachgerüstet werden. Dabei sollte dann auch die jeweils aktuelle Version von DepotFinity für das Lademanagement verfügbar sein.</p> <p>Wegen der Verzögerung des Feldtests konnte dieser lediglich im Sommerbetrieb durchgeführt werden;</p>

	<p>die Reaktionen der Fahrer auf den operativen Betrieb der E-LKWs waren durchweg positiv. Allerdings konnte der operative Betrieb im Winter nicht mehr evaluiert werden; erste Anzeichen deuten aber auf Kapazitätsprobleme im Winter wegen des erforderlichen Betriebs der Heizungsanlage im Fahrzeug hin.</p> <p>Die Untersuchungen der elektrisch angetriebenen LKWs im Winterbetrieb werden von DHL im Winter 2023/2024 weiteruntersucht.</p> <p>Wegen der aufgetretenen Verzögerungen bei der Erweiterung der LIS um ISO/IEC 15118 und des Feldtests wurde durch das Projektmanagement umgeplant und es wurde eine Demo des Protokolls im Labor bei Siemens in München unter Nutzung eines Keysight-Protokolltesters auf Fahrzeugseite für Mitte April 2024 vorbereitet. Eine Integration des Protokolls in die LIS in Erlensee sollte im geplanten Fortsetzungsprojekt GridLogCharging erfolgen.</p>
<p>Überprüfung der Umsetzbarkeit der erarbeiteten Lösungen im Wirkbetrieb des DHL Freight Terminals in Erlensee und Evaluierung einer möglichen Übertragbarkeit auf andere Terminals und andere Logistikdienstleister.</p>	<p>Im Jahr 2022 sollten die Rahmenbedingungen am DHL Freight Standort Erlensee geschaffen werden, um die Vorbereitung des Feldversuchs abzuschließen. Durch die fehlende Online-Anbindung aller Ladestationen verzögerte sich das Arbeitspaket. Die Meilensteine M7 (Feldversuch abgeschlossen) und M8 (Evaluierung des Feldversuchs) wurden auf den PM 36 verlegt, um noch so viele Informationen/Daten wie möglich zu generieren und auszuwerten. Die Ergebnisse der Winterverbrauchsmessung stehen noch aus und somit auch die Erstellung der Entscheidungsvorlage.</p>
<p>AP6: Webseite erstellen und aktualisieren, Social Media</p>	<p>a) Webseite wurde erstellt und unter Federführung der FH Doertmund von allen Partnern permanent aktualisiert: https://cilocharging.de;</p> <p>b) Zusammenarbeit mit dem Projekt providentia++ der TU München wurde 2021 über die Projektleitung arrangiert: https://innovation-mobility.com/), außerdem hat das Projekt hier eine eigene Projektseite bekommen, https://innovation-mobility.com/projekt-cilocharging/.</p> <p>Ein Artikel zu CiLoCharging ist dort z.B. ein Interview der providentia-Kollegen mit der Projektleitung: https://innovation-mobility.com/cilocharging-emobilitat-stadtnahe-logistik/.</p> <p>c) Zugänge zu den sozialen Medien LinkedIn und Twitter für CiLoCharging sind erstellt und laufend aktualisiert worden (Input aller Partner): https://twitter.com/CiLoCharging, https://www.linkedin.com/company/cilocharging/</p>

<p>Verbreitung der Ergebnisse und Diskussion in den relevanten Fachkreisen</p>	<ul style="list-style-type: none"> a) Verschiedene Partner haben an Statusmeetings und Koordinatorentreffen teilgenommen: DHL Freight, FH Dortmund und Siemens. b) Für die Messe Transport Logistic im Mai 2023 in München wurde durch die Agentur „Zum Goldenen Hirschen“ ein ‚Projektfilm‘ erstellt, der am Standort in Erlensee im April 2023 gedreht wurde. c) Interview mit Dr.-Ing. Katja Engel für das Forschungsmagazin „ORANGE“ der FH Dortmund vom 19.10.2021 über das Projekt CiLoCharging im Allgemeinen sowie die Entwicklung von E-LKWs und die erforderliche Ladeinfrastruktur.
<p>Begleitforschung</p>	<ul style="list-style-type: none"> a) Siemens sowie die FH Dortmund nahmen am Koordinatoren-Treffen des BMWi-Programms IKT für Elektromobilität am 10. Mai 2021 teil. Hierbei wurde eine Fachgruppe zum bidirektionalen Laden für den regelmäßigen Austausch angeregt, da mehrere Projekte sich mit dem Thema beschäftigen. b) <i>Antworten zum Steckbrief / Fragebogen</i> an Frau Xenia Murve: CiLoCharging hat am 19.4.2021 Antworten zu den 5 Fragen an die Leiterin des Pressebüros der Begleitforschung IKT EM geschickt. c) Herr Kuntschke und Herr Götz hatten am 5. März 2021 ein erstes Kennenlerngespräch mit Cornelius Moll, Projektleiter und Senior Wissenschaftler am <i>Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe</i>, und seinem Kollegen Kristoffer Born. d) Das Projekt CiLoCharging hat am Koordinatoren-Treffen des BMWi-Programms IKT für Elektromobilität am 22. September 2021 teilgenommen. e) Das Statusseminar am 23.11.2021 musste leider aufgrund der Pandemie entfallen. Die Folie zum Stand der Projektarbeiten wurde aber nach Vorlage der Begleitforschung ausgefüllt. f) Teilnahme von CiLoCharging-Partnern an den Koordinatorentreffen von 11.3.2022 und 20.5.2022 online. g) Am 15.3.2022 hat sich CiLoCharging aktiv an einem vom IKT-EM Projekt SML (Smart Multi-Use Logistik) initiierten <i>Erfahrungsaustausch</i> zum <i>Thema Einsatzplanung für E-Fahrzeuge in gewerblichen Flotten</i> beteiligt und die mögliche künftige Relevanz des Themas Touren- und Einsatzplanung für das Projekt CiLoCharging skizziert. h) Teilnahme von Kollegen der FH Dortmund aus dem Projekt CiLoCharging an den Tagen der digitalen Technologien 2022 – Nachhaltigkeit digital gestalten am 29.-30.8.2022 im bcc Berlin.

	<p>i) Vorstellung des aktuellen Projektstatus beim Statustreffen der Begleitforschung am 7.10.2022 in der Alten Münze Berlin.</p> <p>j) Jürgen Götz hat sich am 10.01.2023 mit Frau Annegret Stephan vom Fraunhofer ISI im Rahmen der Begleitforschung ausgetauscht und das Projekt CiLoCharging vorgestellt.</p> <p>k) Koordinatorentreffen 26.10.2023 in Frankfurt/M.: Abschlussdemo Projekt iLaPark und Abschlusspräsentation des Projekts CiLoCharging: Kurzpräsentation und Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse des Projekts CiLoCharging,</p>
Messen	<p><i>Präsentation des CiLoCharging Projekts einschließlich der VersiCharge Wallbox auf der Messe transport logistics 2023 in München</i></p> <p>CiLoCharging hat sich erfolgreich um eine Teilnahme an der Messe transportLogistic2023 (9.-12. Mai 2023, weltweite Fachmesse für Logistik, Mobilität, IT und Supply Chain Management) am BMWK-Gemeinschaftsstand bei der BAFA beworben. Die Teilnahme am Gemeinschaftsstand des BMWK wurde ermöglicht, da sich unser Partner STTEch als Start-Up erfolgreich bei der BAFA für den Gemeinschaftsstand bewerben konnte. Die Förderung der Standkosten wurde mit dem DLR abgestimmt und war daher unter Beachtung bestimmter Regeln möglich (Vermeidung einer Doppelförderung).</p> <p>Wir haben dort unsere Innovationsideen zur Zukunft der Logistik im Frachtbereich u.a. mittels des oben bereits erwähnten Projektfilms präsentiert, den wir unter Federführung der Spezialisten vom „Goldenen Hirschen“ mittels Unterstützung der Begleitforschung im April 2023 in Erlensee über den aktuellen und zukünftigen Logistikprozess sowie die Integration von Routen-, Lade- und Energiemanagement aufgenommen haben. Die finalen Filme unseres Projekts finden sich auf dem internen SharePoint des Projekts und können gerne beim Projektleiter angefragt werden (juergen.goetz@siemens.com). Das Video wurde auf der Messe „transportLogistic“ im Mai 2023 in München in Dauerschleife vorgeführt. Flyer in Deutsch und Englisch wurden unter Federführung unseres Partners FH Dortmund ausgearbeitet und auf der Messe verteilt. Für unseren Messestand wurde außerdem ein Projektposter vorbereitet und am Gemeinschaftsstand präsentiert. Die Standbetreuung erfolgte abwechselnd durch alle Projektpartner.</p>

Zusammenfassung und Ausblick der Projektergebnisse aus Sicht der Projektleitung

- **Neue Standards** (ISO/IEC 15118 AC und OCPP 1.6+ / 2.0.1) wurden in die Ladeinfrastruktur zumindest latorseitig eingearbeitet und für künftige neue Angebote (Unabhängigkeit von Hersteller LIS / Fahrzeug) in der Praxis vorbereitet.
- Eine angemessene Evaluierung der Eignung der im **Feldtest** bereitgestellten Lösung (E-LKW im Regelbetrieb des Nahverkehrs eines Stückgutspediteurs) für eine spätere Skalierbarkeit – nicht nur für eigene Fahrzeuge am Standort in Erlensee, sondern auch an anderen Terminals und für Servicepartner – konnte wie vorgesehen detailliert geprüft und dokumentiert werden, was eine wichtige Grundlage für die mögliche Übertragbarkeit der Ergebnisse / Erkenntnisse auf andere Stückgutspeditionen sein wird.
- **Bidirektionales Laden** konnte zumindest simulativ untersucht werden und sollte in einem Fortsetzungsprojekt in der Praxis umgesetzt werden.
- Die **Wirtschaftlichkeit der Nutzung von Second-Life-Batterien** konnte ebenfalls simulativ untersucht werden und sollte im Fortsetzungsprojekt im Rahmen der Konzipierung von langlebigen EV-Batterien- als Basis einer späteren Umsetzung fortgeführt werden.
- Eine deutlich verbesserte Einbindung der **Routenplanung** sowie eine erweiterte Einbindung von **KI-Konzepten** in die CiLoCharging-Lösung wird in einem Fortsetzungsprojekt angestrebt.

<u>Ergebnis</u>	<u>Förderung</u>	<u>Begleitforschung</u>	<u>(Weitere) Verwertung</u>
Einführung elektrisch angetriebener LKWs in die Logistik	Electric trucks heute sehr teuer (E-Truck kostet ungefähr 3x so viel wie ein vergleichbarer Dieseltruck); 2 E-LKWs (Volvo FL) am Standort Erlensee (nahe Hanau), betrieben von DHL Freight	Probleme und Möglichkeiten der Einführung von E-LKWs im Logistikbereich	Innovative Einführung einer Elektroflotte bei DHL Freight
Erweiterung der LIS um Protokoll ISO/IEC 15118 und OCPP Version >=1.6	Unterstützung bei Messeteilnahme transportLogistic 2023 München am BMWK-Gemeinschaftsstand		Erweiterung der LIS bei Provider (AC / DC) hin zu Plug&Charge
Modernes Charging Management System (DepotFinity)			Einsatz und Anpassung gemäß Wünschen und Anregungen von DHL
Start für bidirektionales Laden	Simulative Untersuchung durch TUM		Interesse für neues Geschäftsfeld bei DHL, daher Umsetzung in der Praxis → Fortsetzungsprojekt
Wirtschaftlichkeit 2ndLife für EV-Batterien	Simulative Untersuchung durch TUM		Voraussetzung für Fortsetzungsprojekt: Thema: langlebige Batterien für EVs
Motivierung Fahrzeughersteller und VNB	Assoziierte Partner im Fortsetzungsprojekt, reges Interesse		Long-term topics im Fortsetzungsprojekt: - langlebige Batterien für EVs - bidirektionales Laden
Öffentlichkeitsarbeit	Teilnahme an Messe „transportLogistic2023“ im Mai 2023 in München	Erstellen eines Films im Logistik-Terminal in Erlensee durch Agentur „Goldener Hirsch“ in Zusammenarbeit mit der Begleitforschung	Weiterführung sinnvoll

Fig. 4: Projektergebnisse CiLoCharging (Präsentation im Koordinatorentreffen im Oktober 2023)

Tabelle 2.2: Verwendung Teilvorhaben B (DHL Freight)

Die geplanten Ziele und ihre Erreichung aus Sicht von DHL Freight finden sich im Erfolgskontrollbericht des Partners, Tabelle 2.1.

AP Nr.	Geplantes Ergebnis	Erzieltes Ergebnis
0	Beschaffung der E-LKWs und der LIS für Logistik-Terminal	Erreicht
1	DHL Freight spezifischen Anwendungsfälle definiert, Systemarchitektur erstellt	Erreicht in Zusammenarbeit mit allen Konsortialpartnern.
2	LIS am neuen Logistik-Terminal installieren und in Betrieb nehmen	Die vollständige Inbetriebnahme wurde im März 2023 durchgeführt.
3	Definition der Anforderungen an eine Optimierung. Auswahl und Umsetzung eines geeigneten Tools.	Die Schaffung eines integrativen Optimierungsansatzes, ist wie geplant umgesetzt worden. DepotFinity (Siemens) wird für das Lademanagement verwendet.
4	Mitarbeit an der Szenarienauswahl für die Simulationen.	Evaluierung der Szenarien im 5. Konsortialmeeting Mitte 2023, Präsentation der Ergebnisse aus der Simulation.
5	Durchführung des Feldtests am neuen Logistikterminal in Erlensee.	Feldtest startete erst am 8. Mai 2023 mit einer Verspätung von 4 Monaten. Die Ergebnisse der Winterverbrauchsmessung konnten erst nach dem Projekt durchgeführt werden, da das Projekt nicht verlängert wurde und kein Nachfolgeprojekt gestartet werden konnte.
6	Unterstützung bei Öffentlichkeitsarbeit	Begleitforschung: Teilnahme bei Statustreffen in Berlin. Für die Messe Transport Logistic im Mai 2023 in München wurde ein ‚Projektfilm‘ erstellt, der am Standort in Erlensee gedreht wurde.

Während der Datenerhebung sollten elektrisch betriebene Verteilerfahrzeuge unter Realbedingungen im direkten Vergleich zu konventionellen Diesel-Fahrzeugen erprobt werden. Mögliche Risiken, die mit dem Einsatz einer solchen E-Fahrzeugflotte verbunden sind, sollten durch die systematische Analyse identifiziert und an den Hersteller adressiert werden. Die Ergebnisse der Winterverbrauchsmessung stehen noch aus. Dies wird nachgeholt (nach Projektende), sobald die Wintertests abgeschlossen wurden. Es ist möglich, dass wir zukünftig den Verbrauch der Fahrzeuge höher anzusetzen haben als bisher und somit Fahrzeuge mit größerem Akku einsetzen werden müssen – mit einem negativen Einfluss auf die TCO-Berechnung.

Generell kann gesagt werden, dass die Fahrzeuge von beiden Fahrern sehr gut angenommen und auch sehr gut bewertet wurden (Abbildung 1: Fahrerzufriedenheit). Der Unternehmensbereich Post und Paket in Deutschland setzt die gleichen Fahrzeuge ein, wie die DHL Freight. Bei den Auswertungen der

Verbräuche hat sich gezeigt, dass es eine Abweichung von über 40% vom Minimum (August - Sommer) zum Maximum (Januar – Winter) gibt (Abbildung 2: Verbrauchsauswertungen). Es ist also festzustellen, dass niedrige Außentemperaturen einen signifikanten Einfluss auf den Verbrauch und somit die Reichweite der E-LKW haben. Dieser ist deutlich höher, als im Vorhinein erwartet und muss somit auch nach Abschluss des Feldtests in Erlensee genauer verfolgt werden. Ein Ergebnis kann sein, dass wir zukünftig Fahrzeuge mit einem größeren Akkupack einsetzen müssen. Die Volvo FL-Electric werden mit vier (160, 212, 264 und 316 kWh) Akkukapazitäten (netto) angeboten, wobei bei der DHL Freight LKW mit einer Akkugröße von 212 kWh eingesetzt werden. Es zeichnet sich schon jetzt ab, dass die längere der beiden Touren nicht ohne Zwischenladen durchgeführt werden kann. Eine genaue Analyse, die als Entscheidungsgrundlage dienen soll, werden wir nach Abschluss des Winters – also nach Projektende – erstellen können.

The overall driver's satisfaction is very good Reliability in cold temperatures needs to be tested

The drivers were asked to rank their satisfaction daily regarding:

- Heating & A/C
- Interior noise level
- Operation lifting platform
- General driving comfort
- Driving experience

Topic	Average satisfaction (1 = very good; 6 = bad)
Heating & A/C	1,0
Interior noise level	1,0
Operation lifting platform	1,55
General driving comfort	1,0
Driving experience	1,0

Overall opinion

The CiLo Trucks meet all requirements for pickup & delivery. Battery capacity and range are also suitable for use in local traffic. There was no unscheduled maintenance/repair stop. The driver's opinions were positive in every aspect including driving comfort and experience. The only aspect that needs to be checked is how consumption changes in winter dependent on the outside temperature.

DHL Freight GmbH | CiLoCharaina Konsortialmeeting FH Dortmund | November 2023

Abbildung 1: Fahrerezufriedenheit

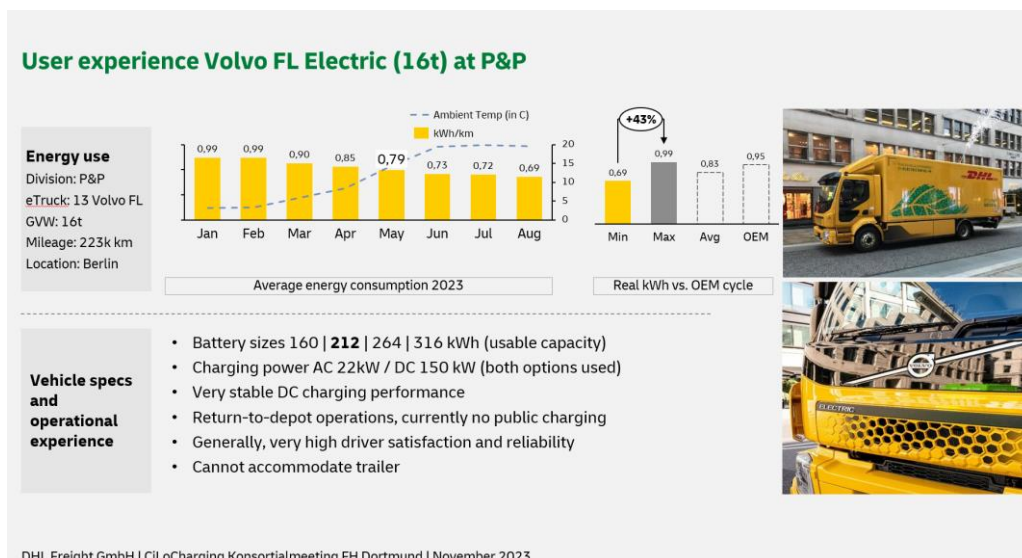


Abbildung 2: Verbrauchsauswertungen

Tabelle 2.3: Verwendung Teilvorhaben C (TUM)

Die geplanten Ziele und ihre Erreichung aus Sicht der TU München finden sich im Erfolgskontrollbericht des Partners, Tabelle 2.1.

Geplantes Ergebnis	Erzieltes Ergebnis
Simulationsergebnisse bidirektionales Laden	Erweiterung CityMoS-Simulator; Erste Ergebnisse wurden gegen Ende des Projekts von der TUM erarbeitet und allen Konsortialpartnern zur Verfügung gestellt.
Simulative Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von 2ndLife für EV-Batterien	Erweiterung CityMoS-Simulator; Erste Ergebnisse wurden gegen Ende des Projekts von der TUM erarbeitet und allen Konsortialpartnern zur Verfügung gestellt
Konferenzen und Paper	2 Kollegen der TUM haben ein Paper zum Thema „Studying Logistic Fleet Electrification Using Traffic Microsimulation“ auf der 2022 Winter Simulation Conference vom 11.-14.12.2022 in Singapur für das CiLoCharging-Projekt präsentiert; die Resonanz dazu auf das Paper war positiv.

Bidirektionales Laden

Bidirektionales Laden ermöglicht, dass Elektroautos nicht nur Energie aus dem Stromnetz oder anderen Quellen aufnehmen können, sondern auch Leistung aus ihrer Batterie zurück ins Netz oder Haus abgeben können. Dieser Prozess wird auch als V2G (Vehicle-to-Grid) bezeichnet.

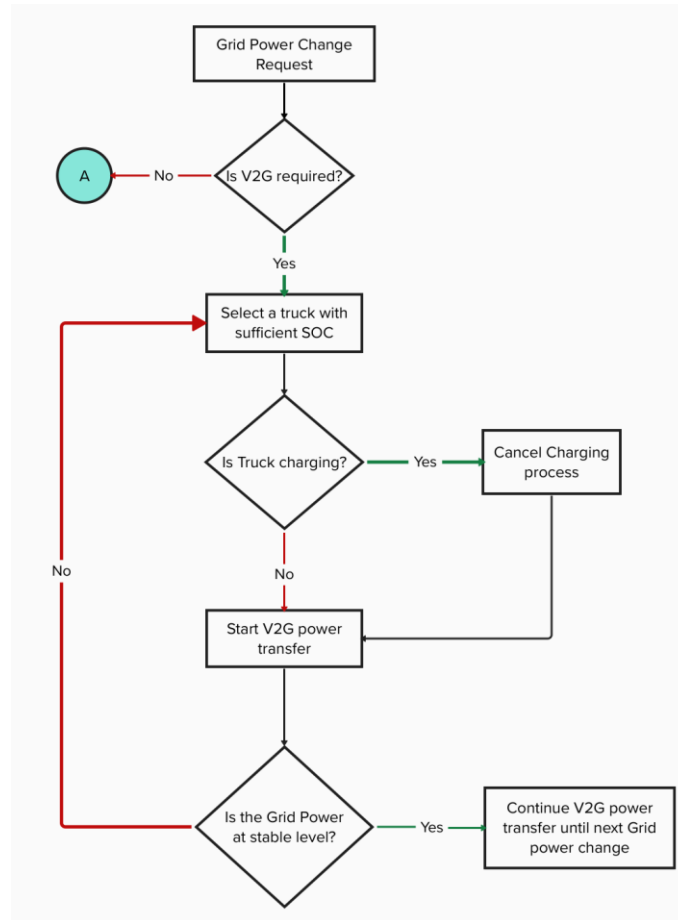
Dieses Thema konnte aufgrund des enormen Aufwands leider nicht in CiLoCharging umgesetzt werden:

- Integration des Protokolls ISO/IEC 15118-20 in die LIS (AC- und DC-seitig)
- Integration des Protokolls ISO/IEC 15118-20 in den E-LKW von Volvo (wird erst langfristig umgesetzt)

und war daher im Projekt nicht in der Praxis möglich.

Wir sind daher auf die bereits in der GVB eingeplanten Notfall-Maßnahme umgestiegen (Tabelle 1) und haben das Thema simulativ mit dem TUM-Simulator CityMoS untersucht.

- Sobald sich das Konzept in der Praxis bewährt, bietet es sich als neues Geschäftsfeld für den Logistikbetreiber DHL an: Unterstützung Smart Grid durch Logistikbetreiber
- Im Bericht zu Meilenstein M16, der am 31.01.2024 ans DLR geschickt wurde, hat die TUM erste Ergebnisse zu den Arbeiten dazu mit dem erweiterten CityMoS-Simulator zusammengefasst.
- Neues Geschäftsfeld für Logistikbetreiber DHL: Unterstützung Smart Grid
- Meilenstein M16 : Simulationsstudie mittels CityMoS (TUM):
CityMoS ermöglicht die Modellierung verschiedener *V2G Strategien*. Wir können diese Strategien mit der CityMOS-Simulationsplattform bewerten und die für unseren Fall am besten geeignete auswählen. Das untenstehende Flussdiagramm hebt den V2G-Entscheidungsfluss hervor.



V2G Strategien

- Wir können verschiedene Strategien für V2G-Modelle in Betracht ziehen und testen. Die angeforderte Leistung vom Netz kann zu hoch für das Depot sein, um sie bereitzustellen. Selbst wenn genügend LKWs vorhanden sind, um die Leistungsanforderung des Netzes zu erfüllen, sollte die Auswahl der LKWs, die die V2G-Leistungsübertragung durchführen, keinen Einfluss auf die Lieferpläne haben. Einige der für V2G implementierten Strategien sind
 1. FIFO - Die Strategie "First in First Out" priorisiert die LKWs je nach Ankunftszeit im Depot.
 2. Spätester Schichtbeginn - LKWs mit der spätesten nächsten Schichtstartzeit werden mit höherer Leistungsnachfrage belegt. Dies ermöglicht den LKWs genügend Zeit zum Aufladen vor Schichtbeginn.
 3. Höchste - LKWs mit dem höchsten SOC werden aufgefordert, mehr Leistung an das Netz zu übertragen.

Die geeignete Strategie hängt vom jeweiligen Szenario ab. Daher sollte eine gründliche Validierung in Simulationen durchgeführt werden. Daher sind alle gängigen Strategien in CityMoS implementiert und aufgrund der modularen Architektur können weitere in den Simulator integriert werden.

Szenario

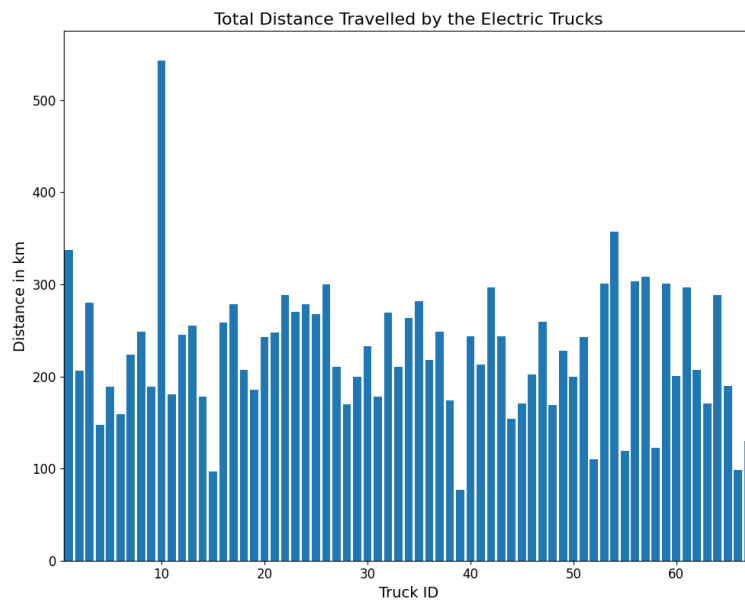
Ein Fünf-Tage-Zeitraum wird für die Simulation ausgewählt, um dies zu demonstrieren. Die Netzdaten eines Tages sind so konzipiert, dass sie Leistungsschwankungen beinhalten. In der Simulation gibt es

67 LKWs und sie haben Lieferungen für alle fünf Tage geplant. Die Spezifikationen jedes LKWs sind so gestaltet, dass sie denen des Volvo FH Elektro-LKWs entsprechen. Das Ziel dieser Experimente ist es, das unterschiedliche Verhalten zu verdeutlichen, das bei verschiedenen Strategien beobachtet wird, die im Depot sowohl für 2nd-life Batterien als auch für V2G eingesetzt werden.

Ergebnisse

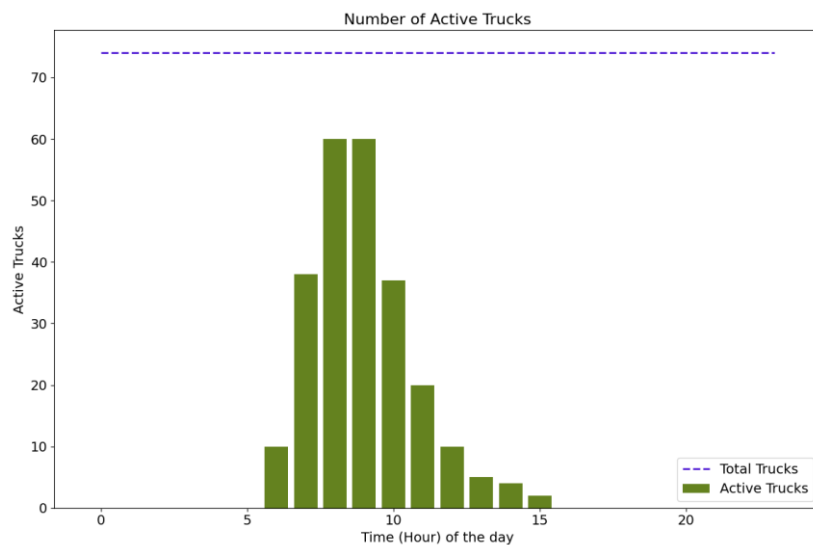
Flottenentfernungen

Alle Simulationen werden anhand des LKW-Kilometerdiagramms validiert, das mit den Eingabedaten verglichen werden kann. Unten ist das LKW-Kilometerdiagramm



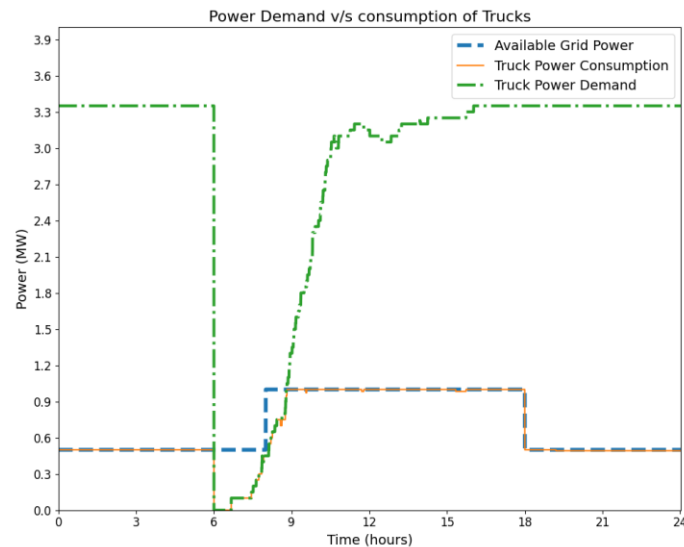
Aktive Zeiten

Nachstehend ist die Zahl der aktiven Zeiten der Lkw während des Tages aufgeführt. Weniger als 20 Lkw fahren nach 11:00 Uhr. Da diese Lkw nach ihrer ersten Schicht wieder auf dem Betriebshof sind, werden sie bis zum Beginn ihrer nächsten Schicht geladen. Folglich ist der Ladebedarf tagsüber nicht gleich Null.



Flottenentfernungen

Es ist offensichtlich, dass die Zeitpläne für verschiedene LKWs unterschiedlich zugeteilt werden. Die Zeiten sind in der Regel von 9:00 Uhr bis 18:00 Uhr, jedoch sind nicht alle LKWs für die gesamte Dauer vom Depot entfernt. Dies bestätigt weiterhin die Notwendigkeit von intelligenten Depot-Strommanagementstrategien. Unten sind die Stromdaten eines Tages im Depot.



Aus dem Leistungsdatenplot für das Depot können wir schließen, dass die LKWs mehr Strom benötigen, als das Netz liefern kann. Wir benötigen zusätzliche Energiequellen, wie zum Beispiel Second-Life-Batterien, das sind gebrauchte Batterien mit ausreichender Restkapazität, die für andere Anwendungen wiederverwendet werden können. Durch die Kombination von Netzstrom und Second-Life-Batterien können wir den für das Aufladen der Lastwagen benötigten Strombedarf decken und sicherstellen, dass sie ihre Liefertermine nicht verpassen.

2nd Life von Altbatterien aus EVs

Da das StreetScooter-Geschäft von DHL kurz vor dem Start von CiLoCharging verkauft wurde und DHL Freight die Nutzung von Elektro-LKWs gerade erst mit dem Förderprojekt gestartet hat, gibt es bei DHL Freight noch nicht genügend Altbatterien aus Elektro-LKWs, um eine sinnvolle Verwendung der Batterien nach ihrer Nutzung in den EVs durchzuführen. Daher ist das Thema bei DHL im Moment von untergeordneter Bedeutung.

Der Einsatz des Simulators CityMoS der TUM ist daher auch zu diesem Thema im Moment eine gute Alternative, um zukünftige Möglichkeiten des 2nd Life von Altbatterien zu planen.

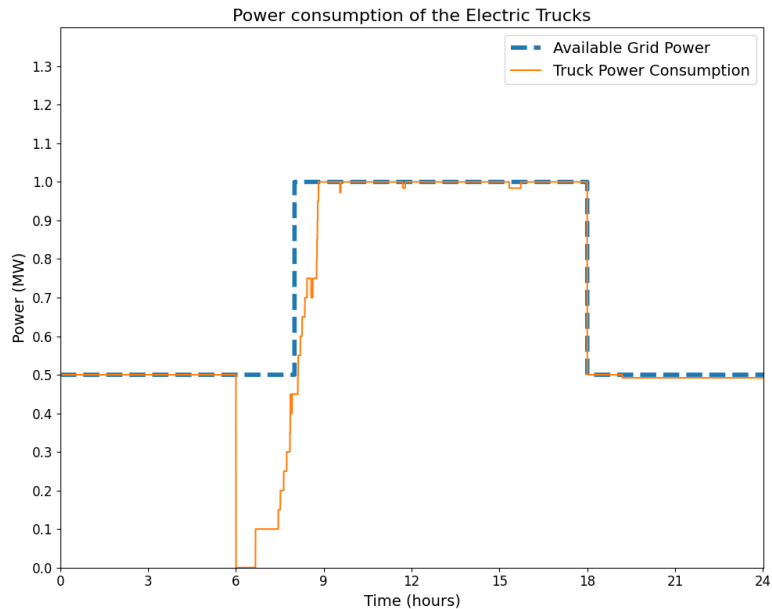
Im Bericht zu Meilenstein M16, der am 31.01.2024 ans DLR geschickt wurde, hat die TUM erste Ergebnisse zu den Arbeiten dazu mit dem erweiterten CityMoS-Simulator zusammengefasst.

Eine praktische Umsetzung und Evaluierung des 2nd-Life-Konzepts und der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen für die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten war für das geplante Fortsetzungsprojekt angedacht.

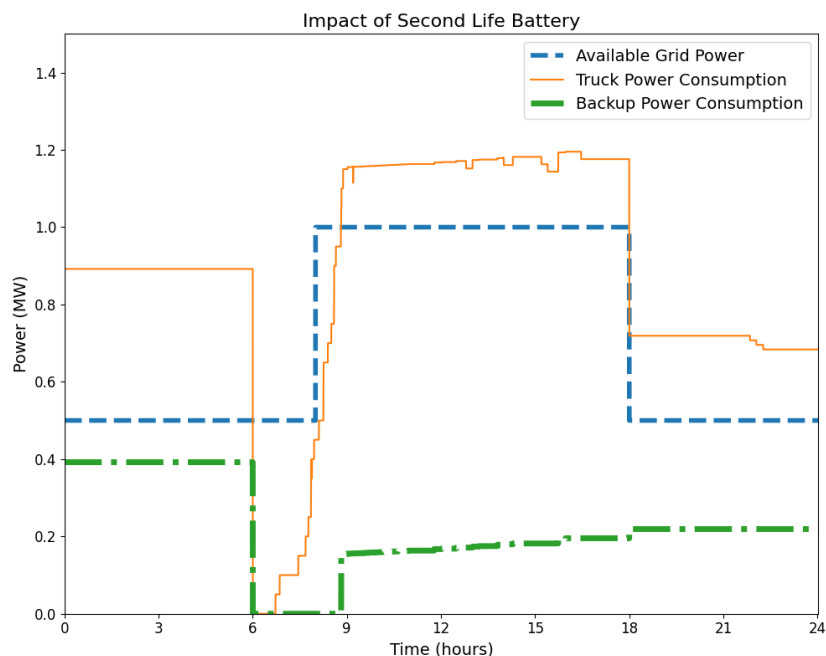
Wir haben bereits erwähnt, warum zusätzliche Energiequellen, wie zum Beispiel 2nd-Life-Batterien, notwendig sind, falls die Netzleistung nicht ausreicht.

In der CityMOS-Simulation können wir Leistungsdaten aus dem Netz und 2nd-Life-Batterien eingeben, um die Auswirkungen dieser Second-Life-Batterien auf das Aufladen von LKWs zu untersuchen.

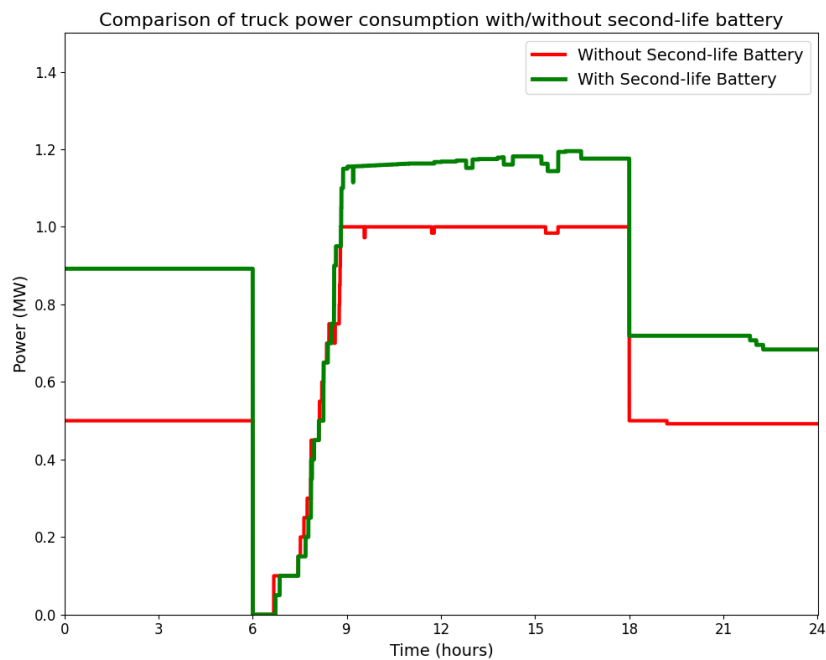
Wie in der folgenden Grafik dargestellt, erreicht der Stromverbrauch des LKW eine Sättigung auf dem gleichen Niveau wie die verfügbare Netzleistung. Dies deutet darauf hin, dass das Aufladen von LKWs möglicherweise mehr Strom benötigt, als vom Netz verfügbar ist.



Die Equal-Strategie ermöglicht es, dass die gesamte Leistung am Netz gleichmäßig auf die LKWs verteilt wird. Es gibt eine anhaltende Nutzung der Netzleistung über den Tag. Die 2nd-life Batterien werden nur genutzt, wenn die Netzleistung unzureichend ist. Dies wird in der folgenden Abbildung demonstriert.

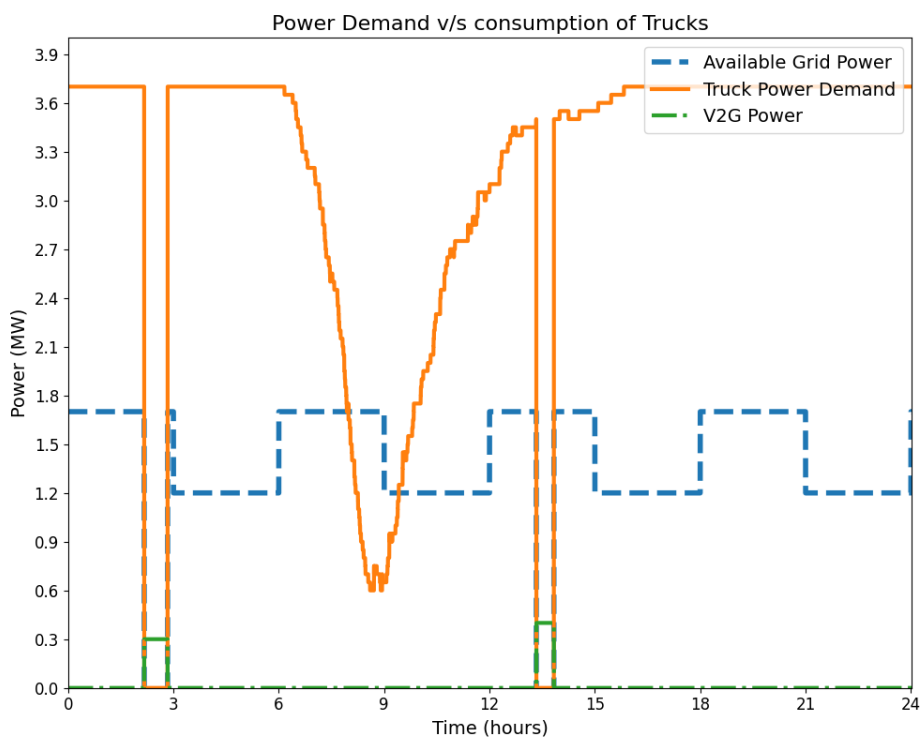


Die Zugabe von 2nd-life Batterien erhöht die Leistung, die die LKWs verbrauchen können. Dies erhöht die Ladeabschlussraten für die Elektro-LKWs und stellt somit sicher, dass die LKWs für die Lieferungen gemäß dem Zeitplan besser verfügbar sind. Die folgende Grafik zeigt die Auswirkungen der 2nd-life Batterie auf den Betrieb des Depots.



Der Unterschied in der Leistung zwischen grünen und roten Linien ist die Leistung, die von der 2nd-life Batterie geliefert wird.

V2G wird die Netzleistung in den kurzen Zeiträumen ergänzen, in denen nicht genügend Strom vorhanden ist. Es wird davon ausgegangen, dass die Anfragen nach Netzstrom nicht regelmäßig sind und eine Dauer von 30 Minuten haben. Wenn der Netzstrom nicht verfügbar ist, hören die LKWs auf zu laden und bereiten sich darauf vor, Strom zurück ins Netz zu speisen. Je nach ausgewählter Strategie werden Kandidaten-LKWs für V2G ausgewählt. Unten sind die Ergebnisse für ein Beispiel-Szenario dargestellt.



Die Spitzen in der grünen Linie zeigen die Dauer an, für die die LKWs sich entladen haben und diese Energie wird zurück ins Netz gespeist. Die V2G-Stromanfragen sind von halbstündiger Dauer, ausgewählt mit der Motivation, die V2G-Möglichkeiten zu vermitteln.

Tabelle 2.4: Verwendung Teilvorhaben D (FH Dortmund)

Die geplanten Ziele und ihre Erreichung aus Sicht der FH Dortmund finden sich detailliert im Erfolgskontrollbericht des Partners, Tabelle 2.1.

Hier kurz die wichtigsten Beiträge:

Geplantes Ergebnis	Erzieltes Ergebnis
Anforderungen und Architektur	<ul style="list-style-type: none"> - Erhebung der Anforderungen basierend auf den Anwendungsfällen im Logistikbetrieb des Projektpartners DHL Freight. - Erstellung der finalen Version der Systemarchitektur
Datenintegrationsplattform und Routenmanagement	<p>Die <i>FH Dortmund</i> arbeitet an der Implementierung einer Kommunikationskomponente zwischen den einzelnen Modulen der geplanten CiLoCharging-Lösung; hier werden auch KI-Verfahren für die Routenplanung und evtl. für das Energiemanagement am Standort durch den Partner <i>STTech</i> eingebunden.</p> <p>DHL unterstützt mit Daten aus der Logistik.</p> <p>Die Komponente <i>Routenmanagement</i> ist als Middleware zwischen den Logistiksystemen und der Ladeinfrastruktur vorgesehen. Die Anbindung der Ladeinfrastruktur-Software DepotFinity (Siemens) ist in Planung.</p> <p>Auf dem 4. Konsortialmeeting (Mitte Dez.2022) wurde ein Prototyp des <i>Routenmanagements</i> vorgestellt. Die Positionen der Ladeliste aus dem Logistiksystem von DHL Freight werden zu einer Adressliste weiterverarbeitet. Basierend auf der Adressliste wird eine Route ermittelt. Dazu wird die OpenStreetMap-API mit offline Karten genutzt. Die Gesamtlänge der ermittelten Route kann als Information an das Lademanagement DepotFinity (vormals EVC3) weitergegeben werden (REST-API).</p> <p>Die Integration des Imports aus dem DHL TIS wurde 2023 abgeschlossen.</p>
Öffentlichkeitsarbeit	<ul style="list-style-type: none"> - Leitung des AP6 - Koordination Webpräsenz, Social Media und Begleitforschung
Konferenzen und Paper	<p>Das Projekt CiLoCharging hat als Fallstudie in zwei wissenschaftlichen Publikationen gedient:</p> <ul style="list-style-type: none"> - C.Wiecher, C.Wolff, P.Tendyra - <i>Scenario-based Requirements Engineering for Complex Smart City Projects</i> - 2022 IEEE EUROPEAN TECHNOLOGY & ENGINEERING MANAGEMENT SUMMIT - DOI: 10.1109/E-TEMS53558.2022.9944441 - C.Wiecher, C.Wolff, P.Tendyra - <i>Agile Systems Engineering in Complex Scenarios</i> - 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2021) - DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9661020
Webseite	https://cilocharging.de/
Twitter und LinkedIn	<ul style="list-style-type: none"> - https://x.com/CiLoCharging - https://www.linkedin.com/company/72447688/admin/feed/posts/
Flyer für Messe	https://cilocharging.de/cilocharging-auf-der-transport-logistics-2023-in-muenchen/

Öffentliche Demo in Herne („Ruhrvalley“)	Im Raum Dortmund -Herne - Bochum („Ruhrvalley“) war eine Demo geplant, die bis September 2023 verfügbar sein sollte; Schwerpunkt sollte das Thema „Routenmanagement“ sein (https://ruhrvalley.tech/). Diese öffentliche Demo kam leider nicht wie geplant zu Stande.
--	---

Tabelle 2.5: Verwendung Teilvorhaben E (STTech)

Geplantes Ergebnis	Erzieltes Ergebnis
Schaffung generativer KI-Methoden und Werkzeuge	<ul style="list-style-type: none"> - Praxisbeispiele, die es ermöglichen, die KI-Technologie in der Breite zum Einsatz zu bringen (z.B. für Automatische Depotplanung, Anforderungsmanagement, Fehlererkennung, Laufzeitentscheidungen, Prozessdokumentation, Antragsmanagement) - Bis zu +60% Performance bei Anforderungsmanagement

2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Konsortialführer Siemens AG:

Wichtigste Positionen (Verwendungsnachweis)	Beschreibung / Abweichungen
Projektleitung und Projekt-Reporting	keine
Bereitstellung der Ladeinfrastruktur und der Lademanagement-Software für den Feldtest bei DHL	4 Monate Verzögerung wegen Lieferschwierigkeiten und technischer Probleme
Teilnahme an Veranstaltungen der Begleitforschung	keine
Messeteilnahme bei „transport logistic 2023“ in München: Mitarbeit an Organisation und Durchführung	keine

Teilvorhaben B (DHL):

Wichtigste Positionen (Verwendungsnachweis)	Beschreibung / Abweichungen
Errichtung des neuen Standorts Erlensee	Keine
Integration der Siemens-Ladeinfrastruktur in Erlensee	4 Monate Verzögerung
Vorbereitung und Durchführung des Feldtests	Winterbetrieb konnte nicht mehr evaluiert werden wegen Verzögerung und fehlendem Fortsetzungsprojekt

Teilvorhaben C (TUM):

Wichtigste Positionen (Verwendungsnachweis)	Beschreibung / Abweichungen
Erweiterung CityMoS-Simulator für 2nd Life von EV-Alt Batterien und V2G	keine

Teilvorhaben D (FH Dortmund):

Wichtigste Positionen (Verwendungsnachweis)	Beschreibung / Abweichungen
Anforderungsanalyse und Entwurf der Architektur des Gesamtsystems	keine

Datenintegrationsplattform und Routenmanagement	Ansatz begonnen, konnte aber nicht zu Ende geführt werden wegen Personalmangel (fehlende Masterstudenten)
Übernahme der Leitung Öffentlichkeitsarbeit	keine
Organisation Webpräsenz und Social Media	keine

Teilvorhaben E (STTech):

Wichtigste Positionen (Verwendungsnachweis)	Beschreibung / Abweichungen
Generative KI-Methoden und Werkzeuge wurden konzipiert, die für die Ermöglichung innovativer Konzepte für den Logistikbetrieb verwendet werden können. Diese sollten im Fortsetzungsprojekt sinnvoll eingesetzt werden. Die Prozessabläufe in den Depots wurden untersucht und mit Möglichkeiten für das automatisierte Depotmanagement einschließlich der KI-basierten Routenplanung konzeptionell angereichert. Hierbei hat sich bestätigt, dass der Einsatz von KI zu einem optimierten Depotbetrieb und zu einer effektiveren Flottennutzung führen kann.	keine
Erfolgreiche Antragstellung für Gemeinschaftsstand bei „transport logistic 2023“ als StartUp-Partner	Keine

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Konsortialführer Siemens AG:

Zentraler Aspekt für die Siemens AG war die Bereitstellung der Ladeinfrastruktur für den Feldtest des Projekts in Erlensee sowie der Software für das Lademanagement ([DepotFinity](#)) für das flexible Steuern des Ladevorgangs.

Der Bereich SI (Smart Infrastructure) der Siemens AG stellte dazu für den Standort Erlensee folgende Ladestationen zur Verfügung:

- 2 AC-Ladestationen [VersiCharge](#)
- 1 DC-Ladestation [SiCharge D](#):



Die Ladestationen wurden von Siemens AG Technology AC-seitig im Labor erweitert um das standardisierte Kommunikationsprotokoll ISO/IEC 15118, so dass am 17. April online eine Präsentation des Ablaufs des Protokolls mit Plug & Charge-Funktionalität auf Basis eines Keysight-Testsystems gezeigt werden konnte.

Das Protokoll erlaubt die Nutzung der Fahrzeuge aller Hersteller, die das Protokoll unterstützen (Herstellerunabhängigkeit des Ladevorgangs).

Die Bereitstellung einer funktionsfähigen Infrastruktur am Logistik-Terminal ist unabdingbare Voraussetzung für die künftige Errichtung eines elektrisch betriebenen Lieferdienstes für den stadtnahen Logistikbetrieb (und später auch die Logistik im Fernbereich).

Teilvorhaben B (DHL):

Hierzu findet sich eine Beschreibung im Kap. 2.1 dieses Schlussberichts von DHL Freight zum Aufbau einer elektrisch betriebenen Fahrzeugflotte an einem neu errichteten Logistik-Terminal.

Teilvorhaben C (TUM):

Hierzu findet sich eine Beschreibung in Kapitel 2.1 dieses Schlussberichts von der TUM zur Erweiterung des Simulators CityMoS für die wirtschaftliche Verwendung von 2nd Life Altbatterien aus EVs und der Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit von V2G.

Teilvorhaben D (FH Dortmund):

Hierzu findet sich eine Beschreibung in Tabelle 2.4 dieses Schlussberichts von der FH Dortmund.

Teilvorhaben E (STTech):

Generative KI-Methoden und Werkzeuge wurden konzipiert, die für die Ermöglichung innovativer Konzepte für den Logistikbetrieb verwendet werden können. Diese sollten im Fortsetzungsprojekt sinnvoll eingesetzt werden.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Tabelle 2.6: Verwertung Teilvorhaben Konsortialführer

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung	Zeithorizont
Ladeinfrastruktur und Lademanagement	Test der Eignung Siemens-Ladesäulen für AC und DC und operativer Einsatz in einem Logistik-Terminal für E-LKWs Eignung und notwendige Erweiterung für das Lademanagement und sein Zusammenspiel mit dem Logistikbetrieb auf Basis der Anforderungen eines Logistikunternehmens	heute
Erweiterung Ladeinfrastruktur, Test und operativer Einsatz in der Logistik	Erweiterung und Test der Siemens-Produkte um neue standardisierte Protokolle (ISO/IEC 15118, OCPP-Version > 1.6) für Plug&Charge sowie bidirektionales Laden	Kurz- bis mittelfristig (2-5 Jahre)
Implementierung ISO/IEC 15118 AC für Ladeinfrastruktur.	Einsatz in Ladecontrollern und Ladeinfrastruktur des Produktportfolios der Siemens AG und Weiterentwicklung zur Unterstützung neuerer Versionen des Standards	Verwertung der aktuellen Protokollversion parallel zum Projekt bis Projektende. Erweiterung auf neue Protokollversionen auch darüber hinaus.
Implementierung OCPP für Ladeinfrastruktur.	Einsatz in Ladecontrollern und Ladeinfrastruktur des Produktportfolios der Siemens AG und Weiterentwicklung zur Unterstützung neuerer Versionen des Standards	Verwertung der aktuellen Protokollversion parallel zum Projekt bis Projektende. Erweiterung auf neue Protokollversionen auch darüber hinaus.
Lösung für ein optimiertes Lademanagement in Logistikdepots	Integration in die Produktlösung für Lademanagement der Siemens AG	Umsetzung einer Produktlösung bis spätestens ein Jahr nach Projektende
Standards, Beiträge für Normen	Mitarbeit in Standardisierung Working Groups (ISO 15518, DIN 70121): ISO/TC 22/SC 31/JWG, DIN NA 052-00-31-01 GAK	permanent
Durch das Projekt initiierte Markterschließungsaktivitäten, Nachahmer- und Nachfolgeprojekte oder	Community-Building im Umfeld der Förderung (neue Kooperationen mit Unternehmen, Forschungseinrichtungen oder Stärkung langfristiger Kooperationen):	permanent

weiterführende Technologieentwicklungen	Kontaktaufnahme zum Fahrzeughersteller Volvo wegen Kommunikation über ISO/IEC 15118 zwischen Fahrzeug und Ladestation	
Nachhaltigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Thema „Second-Life-Konzepte für Altbatterien in Elektrofahrzeugen“ wurde gestartet. - Einführung und Nachweis der Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit in Bezug auf Automatisierung und Elektrifizierung der stadtnahen Logistik. - Einsatz allgemeiner Standards bei der Ladeinfrastruktur für die Nutzung auch für Fahrzeuge aus anderen Depots und von anderen Unternehmen → Vergrößerung der Nachlademöglichkeiten von Elektrofahrzeugen 	<p>> 2 Jahre</p> <p>Heute</p> <p>< 2 Jahre</p>

Tabelle 2.7: Verwertung Teilvorhaben DHL

Die Verwertungstabelle des Partners DHL Freight findet sich in dem Erfolgskontrollbericht des Partners, Tabelle 3.1 und 3.2.

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Die Verwertungstabelle des Partners DHL Freight findet sich in dem Erfolgskontrollbericht des Partners, Tabelle 3.1 und 3.2.	

Tabelle 2.8: Verwertungstabelle TUM

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
s. Tabellen 3.1, 3.2 und 3.3 des Erfolgskontrollberichts der TUM.	

Tabelle 2.9: Verwertungstabelle FH Dortmund

Die Verwertungstabellen des Partners FH Dortmund finden sich in dem Erfolgskontrollbericht des Partners, Tabellen 3.1, 3.3 und 3.4.

Während Laufzeit				
Lfd. Nr.	Ergebnis (orientiert an Zielsetzung)	Verwertungsmöglichkeit, -aktivität nach Art und Wirkung/Nutzen	Zeithorizont Realisierung	Status
2	Open Source Software und Ergebnisse des Feldversuchs	Nutzung als Fallstudie in der Lehre, vor allem in der Masterausbildung im Rahmen der Ruhr Master School, Einführung z.B. im Rahmen einer Summer School	Beginnend während des 2. und 3. Projektjahres	Fallstudie wurde ab dem 2. Jahr in einer Masterarbeit sowie weiterer studentischer Arbeit genutzt. Weiterentwicklung des Systems in der Lehre ist möglich.
Nach Projektende				
Lfd. Nr.	Ergebnis (orientiert an Zielsetzung)	Verwertungsmöglichkeit, -aktivität nach Art und Wirkung/Nutzen	Zeithorizont Realisierung	Status
1	Datenintegrationsplattform für die City-Logistik, basierend auf dem IDS bzw. MDS	Veröffentlichung als Open Source, ggf. Einbringen in ein umfassenderes Open Source Projekt, z.B. im Kontext Eclipse oder einer Smart City Plattform	1 – 3 Jahre nach dem Projektende	offen
3	Cloud-basierte Datenerfassungs- und Auswertepattform	Nutzung in künftigen Forschungsprojekten mit der Notwendigkeit einer verteilten Datenaufnahme und Datenauswertung	Unmittelbar nach Projektende	offen

Die Verwertungstabelle des Partners STTech findet sich in dem Erfolgskontrollbericht des Partners.

Tabelle 2.10: Verwertungstabelle STTEch

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
s. Erfolgskontrollbericht von STTEch.	

2.5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Konsortialführer Siemens AG:

Für die Integration der Standards in die Ladeinfrastruktur gibt es inzwischen eine Vielzahl von Anbietern und Lösungen. Der Siemens-Bereich SI ist dabei, die beste Lösung für seine Ladesäulen zu finden, die dann in die vorhandenen Produkte optimal integriert werden können.

Teilvorhaben B (DHL):

nicht zutreffend

Teilvorhaben C (TUM):

nicht zutreffend

Teilvorhaben D (FH Dortmund):

Für die Aufgaben der FH Dortmund innerhalb des Projekts sind keine unmittelbar relevanten Fortschritte außerhalb des Projekts bekannt geworden. Innerhalb des Projekts ist das Produkt DepotFinity des Partners Siemens AG, welches sich noch in Entwicklung befindet, aufgekommen. An dieses konnte sich angepasst werden.

Teilvorhaben E (STTEch):

nicht zutreffend

2.6. Literaturverzeichnis

- [1] S. Salhi und G. Nagy, „A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling“, *Journal of the Operational Research Society*, Bd. 50, Nr. 10, S. 1034–1042, Okt. 1999, doi: 10.1057/palgrave.jors.2600808.
- [2] S. Erdoğan und E. Miller-Hooks, „A Green Vehicle Routing Problem“, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Bd. 48, Nr. 1, S. 100–114, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.tre.2011.08.001.
- [3] B. E. Gillett und L. R. Miller, „A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem“, *Operations Research*, Apr. 1974, doi: 10.1287/opre.22.2.340.
- [4] Á. Felipe, M. T. Ortuño, G. Righini, und G. Tirado, „A heuristic approach for the green vehicle routing problem with multiple technologies and partial recharges“, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Bd. 71, S. 111–128, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.tre.2014.09.003.
- [5] S. Zhang, Y. Gajpal, und S. S. Appadoo, „A meta-heuristic for capacitated green vehicle routing problem“, *Ann Oper Res*, Bd. 269, Nr. 1, S. 753–771, Okt. 2018, doi: 10.1007/s10479-017-2567-3.
- [6] W. Li, R. Long, H. Chen, und J. Geng, „A review of factors influencing consumer intentions to adopt battery electric vehicles“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 78, S. 318–328, Okt. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.04.076.

- [7] H. Qin, X. Su, T. Ren, und Z. Luo, „A review on the electric vehicle routing problems: Variants and algorithms“, *Front. Eng. Manag.*, Bd. 8, Nr. 3, S. 370–389, Sep. 2021, doi: 10.1007/s42524-021-0157-1.
- [8] D. J. Rosenkrantz, R. E. Stearns, und P. M. Lewis, II, „An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem“, *SIAM J. Comput.*, Bd. 6, Nr. 3, S. 563–581, Sep. 1977, doi: 10.1137/0206041.
- [9] S. Lin und B. W. Kernighan, „An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Salesman Problem“, *Operations Research*, Bd. 21, Nr. 2, S. 498–516, 1973.
- [10] Juho Andelmin, J. Andelmin, und E. Bartolini, „An Exact Algorithm for the Green Vehicle Routing Problem“, *Transportation Science*, Bd. 51, Nr. 4, S. 1288–1303, Juli 2017, doi: 10.1287/trsc.2016.0734.
- [11] M. Schulz, N. Bey, M. Niero, und M. Hauschild, „Circular economy considerations in choices of LCA methodology: How to handle EV battery repurposing?“, *Procedia CIRP*, Bd. 90, S. 182–186, 2020, doi: 10.1016/j.procir.2020.01.134.
- [12] A. Wren und A. Holliday, „Computer Scheduling of Vehicles from One or More Depots to a Number of Delivery Points“, *Operational Research Quarterly (1970-1977)*, Bd. 23, Nr. 3, S. 333–344, 1972, doi: 10.2307/3007888.
- [13] P. M. Thompson und H. N. Psaraftis, „Cyclic Transfer Algorithm for Multivehicle Routing and Scheduling Problems“, *Operations Research*, Bd. 41, Nr. 5, S. 935–946, Okt. 1993, doi: 10.1287/opre.41.5.935.
- [14] C. Heymans, S. B. Walker, S. B. Young, und M. Fowler, „Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-levelling“, *Energy Policy*, Bd. 71, S. 22–30, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2014.04.016.
- [15] D. Kamath, R. Arsenault, H. C. Kim, und A. Anctil, „Economic and Environmental Feasibility of Second-Life Lithium-Ion Batteries as Fast-Charging Energy Storage“, *Environ. Sci. Technol.*, Bd. 54, Nr. 11, Art. Nr. 11, Juni 2020, doi: 10.1021/acs.est.9b05883.
- [16] J. Lin, W. Zhou, und O. Wolfson, „Electric Vehicle Routing Problem“, *Transportation Research Procedia*, Bd. 12, S. 508–521, 2016, doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.007.
- [17] S. R. Kancharla und G. Ramadurai, „Electric vehicle routing problem with non-linear charging and load-dependent discharging“, *Expert Systems with Applications*, Bd. 160, S. 113714, Dez. 2020, doi: 10.1016/j.eswa.2020.113714.
- [18] M. Keskin, G. Laporte, und B. Çatay, „Electric Vehicle Routing Problem with Time-Dependent Waiting Times at Recharging Stations“, *Computers & Operations Research*, Bd. 107, S. 77–94, Juli 2019, doi: 10.1016/j.cor.2019.02.014.
- [19] D. B. Richardson, „Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 19, S. 247–254, März 2013, doi: 10.1016/j.rser.2012.11.042.
- [20] G. Desaulniers, F. Errico, S. Irnich, M. Schneider, und M. Schneider, „Exact Algorithms for Electric Vehicle-Routing Problems with Time Windows“, *Operations Research*, Bd. 64, Nr. 6, S. 1388–1405, Okt. 2016, doi: 10.1287/opre.2016.1535.
- [21] M. H. S. M. Haram, J. W. Lee, G. Ramasamy, E. E. Ngu, S. P. Thiagarajah, und Y. H. Lee, „Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges“, *Alexandria Engineering Journal*, Bd. 60, Nr. 5, Art. Nr. 5, Okt. 2021, doi: 10.1016/j.aej.2021.03.021.
- [22] B. L. Golden, T. L. Magnanti, und H. Q. Nguyen, „Implementing vehicle routing algorithms“, *Networks*, Bd. 7, Nr. 2, S. 113–148, 1977, doi: 10.1002/net.3230070203.
- [23] A. Froger, J. E. Mendoza, O. Jabali, und G. Laporte, „Improved formulations and algorithmic components for the electric vehicle routing problem with nonlinear charging functions“, *Computers & Operations Research*, Bd. 104, S. 256–294, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.cor.2018.12.013.
- [24] F. Chabarek, „Interaktive Vervollständigung von Szenariospezifikationen“, S. 182.
- [25] H. Rallo, L. Canals Casals, D. De La Torre, R. Reinhardt, C. Marchante, und B. Amante, „Lithium-ion battery 2nd life used as a stationary energy storage system: Ageing and economic analysis in two real cases“, *Journal of Cleaner Production*, Bd. 272, S. 122584, Nov. 2020, doi:

- 10.1016/j.jclepro.2020.122584.
- [26] I. H. Osman, „Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem“, *Ann Oper Res*, Bd. 41, Nr. 4, S. 421–451, Dez. 1993, doi: 10.1007/BF02023004.
- [27] M. J. Geiger, *Multikriterielle Ablaufplanung*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2005. doi: 10.1007/978-3-322-82174-4.
- [28] P. M. Pardalos und A. Migdalas, Hrsg., *Open Problems in Optimization and Data Analysis*, Bd. 141. in Springer Optimization and Its Applications, vol. 141. Cham: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-99142-9.
- [29] M. Keskin und B. Çatay, „Partial recharge strategies for the electric vehicle routing problem with time windows“, *Transportation Research Part C-emerging Technologies*, Bd. 65, S. 111–127, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.trc.2016.01.013.
- [30] G. Clarke und J. W. Wright, „Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points“, *Operations Research*, Bd. 12, Nr. 4, S. 568–581, 1964.
- [31] M. K. Al-Alawi, J. Cugley, und H. Hassanin, „Techno-economic feasibility of retired electric-vehicle batteries repurpose/reuse in second-life applications: A systematic review“, *Energy and Climate Change*, Bd. 3, S. 100086, Dez. 2022, doi: 10.1016/j.egycc.2022.100086.
- [32] H. Li, T. Lv, und Y. Lu, „The Combination Truck Routing Problem: A Survey“, *Procedia Engineering*, Bd. 137, S. 639–648, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.301.
- [33] P. C. Nolz, N. Absi, D. Feillet, und C. Seragiotto, „The consistent electric-Vehicle routing problem with backhauls and charging management“, *European Journal of Operational Research*, Bd. 302, Nr. 2, S. 700–716, Okt. 2022, doi: 10.1016/j.ejor.2022.01.024.
- [34] M. Granada-Echeverri, L. C. Cubides, und J. O. Bustamante, „The electric vehicle routing problem with backhauls“, *10.5267/j.ijiec*, S. 131–152, 2020, doi: 10.5267/j.ijiec.2019.6.001.
- [35] A. Montoya, C. Guéret, J. E. Mendoza, und J. G. Villegas, „The electric vehicle routing problem with nonlinear charging function“, *Transportation Research Part B: Methodological*, Bd. 103, S. 87–110, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.trb.2017.02.004.
- [36] M. Schneider, A. Stenger, und D. Goeke, „The Electric Vehicle-Routing Problem with Time Windows and Recharging Stations“, *Transportation Science*, März 2014, doi: 10.1287/trsc.2013.0490.
- [37] G. B. Dantzig und J. H. Ramser, „The Truck Dispatching Problem“, *Management Science*, Bd. 6, Nr. 1, S. 80–91, 1959.
- [38] M. Goetschalckx und C. Jacobs-Blecha, „The vehicle routing problem with backhauls“, *European Journal of Operational Research*, Bd. 42, Nr. 1, S. 39–51, Sep. 1989, doi: 10.1016/0377-2217(89)90057-X.
- [39] M. W. P. Savelsbergh, „The Vehicle Routing Problem with Time Windows: Minimizing Route Duration“, *ORSA Journal on Computing*, Bd. 4, Nr. 2, S. 146–154, Mai 1992, doi: 10.1287/ijoc.4.2.146.
- [40] B. Golden, S. Raghavan, und E. Wasil, Hrsg., *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, Bd. 43. in Operations Research/Computer Science Interfaces, vol. 43. Boston, MA: Springer US, 2008. doi: 10.1007/978-0-387-77778-8.
- [41] R. Reinhardt, I. Christodoulou, S. Gassó-Domingo, und B. Amante García, „Towards sustainable business models for electric vehicle battery second use: A critical review“, *Journal of Environmental Management*, Bd. 245, S. 432–446, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.095.
- [42] M.S. Ali, N.T. Tangirala, A. Knoll und D. Eckhoff, “Rebalancing Autonomous Electric Vehicles for Mobility-on-Demand by Data-driven Model Predictive Control”, 2023 IEEE 26th-International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Bilbao, Spain, pp. 215-221, doi: 10.1109/ITSC57777.2023.10422002.

2.7. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Tabelle 2.11: Veröffentlichungen Teilvorhaben Konsortialführer

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Interview mit Dr.-Ing. Katja Engel	19.10.2021	Forschungsmagazin „ORANGE“ der FH Dortmund	Projekt CiLoCharging im Allgemeinen sowie die Entwicklung von E-LKWs und die erforderliche Ladeinfrastruktur
Statusmeetings und Koordinatorentreffen der Begleitforschung	Mehrere Treffen von 2021-2023	s. „Begleitforschung“ in Kap. 2.1	Stand des Projekts und seine Ergebnisse
CiLoCharging integriert in Providentia++ Webseite (TUM): https://innovation-mobility.com/projekt-cilocharging/ ; Projektbeiträge auf der Webseite des Projekts providentia++: https://innovation-mobility.com/cilocharging-emobilitat-stadtnaer-logistik/			
Schlussbericht CiLoCharging	Mai 2024	TIB	Project CiLoCharging

Tabelle 2.12: Veröffentlichungen Teilvorhaben DHL Freight

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Nicht zutreffend			

Tabelle 2.13: Veröffentlichungen Teilvorhaben TUM

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
„Studying Logistic Fleet Electrification Using Traffic Microsimulation“	11.-14.12.2022	2022 Winter Simulation Conference in Singapur	-TUM -
“Rebalancing Autonomous Electric Vehicles for Mobility-on-Demand by Data-driven Model Predictive Control”	24.-28.09.2023	2023 IEEE 26 th -International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Bilbao, Spain	-TUM -

Tabelle 2.14: Veröffentlichungen Teilvorhaben FH Dortmund

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
C.Wiecher, C.Wolff, P.Tendyra - <i>Scenario-based Requirements Engineering for Complex Smart City Projects</i>	9.-11.3.2022	2022 IEEE EUROPEAN TECHNOLOGY & ENGINEERING MANAGEMENT SUMMIT, DOI: 10.1109/E-TEMS53558.2022.9944441,	CiLoCharging wurde als Fallstudie im Kontext Begleitforschung „Smart Cities“

		https://etems.digital/2022/ in "University of the Basque Country", Spanien	genutzt und auf der Konferenz E-TEMS 2022 in Form eines Papers präsentiert
C.Wiecher, C.Wolff, P.Tendyra - <i>Agile Systems Engineering in Complex Scenarios</i>	22.- 25.9.2021	11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) , DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9661020, Krakau, Polen, https://www.idaacs.net/2021	

Tabelle 2.15: Veröffentlichungen Teilvorhaben STTech

Titel	Datum	Ort (Zeitungsnamen, ISBN, ggf. Link etc.)	Inhalt (kurz)
Nicht zutreffend			

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Verbundprojekt: CiLoCharging - Optimierte Integration von Lade-, Logistik-, Energie- und Verkehrsmanagement für den Betrieb von Elektrofahrzeugen in stadtnahen Logistikdepots	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Götz Jürgen; Dr. Kuntschke Richard; Friedrichs Jörg; Neitz Marie-Luise; Tangirala Nagacharan; Sayar Erdi; Prof. Dr. Wolff Carsten; Tendyra Philipp; Hinz Gereon	5. Abschlussdatum des Vorhabens November 2023
	6. Veröffentlichungsdatum Mai 2024
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Siemens Aktiengesellschaft, Abteilung Technology, Otto-Hahn-Ring 6, 81739 München DHL Freight GmbH, Godesberger Allee 102-104, 53175 Bonn Technische Universität München, Lehrstuhl Informatik 6 (Prof. Dr. Alois Knoll), Boltzmannstr. 3, 85748 Garching bei München Fachhochschule Dortmund, Otto-Hahn-Str. 23, 44227 Dortmund STTech GmbH, Floriansmühlstr. 31, 80939 München	9. Ber. Nr. Durchführende Institution ---
	10. Förderkennzeichen 01ME20002A
	11. Seitenzahl 42
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 42
	14. Tabellen Kap.2: 15 + 5 (2.2)
	15. Abbildungen Kap.1: 3, Kap.2:12
16. Zusätzliche Angaben ---	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) ---	

18. Kurzfassung

Bezogen auf das Lademanagement sind heutige Lösungen in der Regel so ausgelegt, dass die Rahmenbedingungen des Ladens der Fahrzeuge keinen Einfluss auf die Logistikabläufe haben. Bei DHL Freight werden heute tagsüber im stadtnahen Bereich Touren von durchschnittlich etwa 150-200 km gefahren, in der Regel mit 14-16 t Diesel-LKWs. Diese sollen nach und nach ersetzt werden durch Elektro-LKWs, für die ein einmaliges Aufladen über Nacht vollkommen ausreicht, um die Batterien auf 100% zu laden. Im Projekt wurde ein erster Schritt hinsichtlich der Ablösung von Diesel-LKWs durch Elektro-LKWs realisiert und evaluiert mittels der Beschaffung und Nutzung von 2 elektrisch betriebenen LKWs für den Tagesbetrieb an einem Logistikterminal von DHL Freight in Erlensee bei Frankfurt / Main.

Durch ein integriertes Lademanagement können sowohl die Einsatzzeiten der Fahrzeuge erhöht als auch die Energiekosten für die Ladevorgänge, beispielsweise durch die Vermeidung von Lastspitzen, optimiert werden, was die ökonomische Machbarkeit und die Attraktivität elektrischer Logistikflotten verbessert. Außerdem ermöglicht der Ansatz die Skalierung der Flottenterminals auf größere Fahrzeugflotten ohne teure Investitionen in den Netzanschluss.

Das Projekt CiLoCharging setzte an der Idee an, die bisher getrennten Optimierungsansätze für Logistik, Mobilitätsmanagement, Energiemanagement und Ladeprozesse für das gesamte Terminal in einem gemeinsamen, flexiblen Optimierungsansatz zusammenzuführen, so dass Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Skalierbarkeit des Gesamtsystems gesteigert werden können. Das Logistikterminal bildet dabei den zentralen Verbindungs- und Optimierungspunkt zwischen den verschiedenen Domänen. Die Auswirkungen und Einflussmöglichkeiten der Kopplung der unterschiedlichen Domänen und die daraus entstehenden Potenziale wurden umfassend untersucht.

Ein umfangreicher Feldtest am Logistik-Standort Erlensee von DHL Freight wurde im Projekt erfolgreich durchgeführt. Die beiden Elektro-LKWs ließen sich sehr gut in den laufenden Logistikbetrieb integrieren und werden weiterhin für den operativen Einsatz in Erlensee verwendet.

Mit Hilfe des integrierenden Ansatzes können dann anspruchsvollere Lösungen für die Verteillogistik realisiert werden. Die Reichweite der Lieferfahrzeuge lässt sich deutlich erhöhen (>250 km) und spontane Zusatztouren durch schnelles Nachladen auf Basis von ISO/IEC 15118 DC könnten realisiert werden. Auch auf andere Anwendungsgebiete ließen sich einige Integrationsergebnisse sicher übertragen (ÖPNV etc.).

19. Schlagwörter

Logistik, Elektro-LKWs, Routenmanagement, Energiemanagement, Ladeinfrastruktur

20. Verlag

TIB (Technische Informationsbibliothek in Hannover)

21. Preis

Noch nicht bekannt

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title Verbundprojekt: CiLoCharging - Optimierte Integration von Lade-, Logistik-, Energie- und Verkehrsmanagement für den Betrieb von Elektrofahrzeugen in stadtnahen Logistikdepots	
4. author(s) (family name, first name(s)) Götz Jürgen; Dr. Kuntschke Richard; Friedrichs Jörg; Neitz Marie.Luise; Tangirala, Nagacharan; Sayar Erdi; Prof. Dr. Wolff Carsten; Tendyra Philipp; Hinz Gereon	5. end of project November 2023
	6. publication date May 2024
	7. form of publication Final Report
8. performing organization(s) (name, address) Siemens Aktiengesellschaft, Department Technology, Otto-Hahn-Ring 6, 81739 München DHL Freight GmbH, Godesberger Allee 102-104, 53175 Bonn Technical University Munich, Informatics 6 (Prof. Dr. Alois Knoll), Boltzmannstr. 3, 85748 Garching Fachhochschule Dortmund, Otto-Hahn-Str. 23, 44227 Dortmund STTech GmbH, Floriansmühlstr. 31, 80939 München	9. originator's report no. ---
	10. reference no. 01ME20002A
	11. no. of pages 42
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. no. of references 42
	14. no. of tables Chapter 2: 15 + 5 (2.2)
	15. no. of figures Chapter.1: 3, Chapter 2:12
16. supplementary notes ---	
17. presented at (title, place, date) ---	

18. abstract

Today, in most cases charging management solutions are designed in a way that the process of charging electric vehicles (BEVs) has no influence on the logistics processes. At DHL Freight, tours take place in urban environments with distances of about 150-200 km during the day using Diesel trucks of 14-16 t. These trucks are to be replaced by electric trucks, for which charging overnight is sufficient to charge the batteries to 100%. In the CiLoCharging project, a first step is made towards realizing and evaluating the replacement of Diesel trucks by BEVs. The project provided and used two electric trucks for daily deployment in a newly built logistics terminal of DHL Freight in Erlensee near Frankfurt / Main in Germany.

Using an integrated charging management software, it was possible to increase operating times of the vehicles and to optimize the energy costs for the charging processes e.g., by avoiding peak loads; this improves the economic feasibility and the attractiveness of electric logistics fleets. Furthermore, this approach enables the scalability of the fleet terminal towards increasing the numbers of vehicles without expensive investment into the capacity of the grid connection point.

CiLoCharging promotes the idea to merge today's separated optimization strategies for logistics, mobility management, energy management, and charging management for the terminal into a common scalable and flexible optimization solution. Thus, efficiency, economics, and scalability of the system as a whole will be increased. The logistics terminal is the central combination and optimization point between the different domains, and the resulting potentials and impacts of this combination and optimization are comprehensively studied.

An extensive field trial at the logistics terminal of DHL Freight in Erlensee was successfully executed in the project. The two electric trucks were integrated into the operational logistics procedures and will be continuously used for operative usage in Erlensee in the future.

Based on our integrated approach, extended solutions for distribution logistics could be realized in the future as well. For instance, the range of the vehicles could be increased significantly (>250 km), and spontaneous additional tours could be arranged using DC fast charging.

Finally, the results and concepts of our project may also be transferred to other application areas such as public transport, and others.

19. keywords

Logistics, electric truck, route management, energy management, charging infrastructure

20. publisher

TIB (Technische Informationsbibliothek in Hannover)

21. price

Not yet known